



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIONU

ROOFING OF THE WINTER STADIUM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Filip Kašpír

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. MARTIN HORÁČEK, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Filip Kašpír
Název	Zastřešení zimního stadionu
Vedoucí práce	Ing. Martin Horáček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Platné normy pro určení účinků zatížení a pro navrhování ocelových konstrukcí:

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-3 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-3: Obecná pravidla - Doplnující pravidla pro za studena tvarované prvky a plošné profily

ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn

ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem bakalářské práce je vypracování návrhu a posouzení nosné ocelové konstrukce zastřešení zimního stadionu v Olomouci o půdorysných rozměrech cca 100×72 metrů. Z dispozičního hlediska se jedná o jednodílný halový objekt s válcovou střechou. Ocelová konstrukce zastřešení je uložena na monolitickém betonovém skeletu, jehož návrh a posouzení není součástí zpracování bakalářské práce.

Požadované výstupy:

Technická zpráva

Statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce zastřešení

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Martin Horáček, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je navrhnutí a posouzení ocelové střešní konstrukce zimního stadionu v městě Olomouc. Nové dispoziční řešení zohledňuje stávající rozměry stadionu. Půdorysné rozměry konstrukce jsou 101x73 m s maximální výškou 30,5 m. Hlavní nosnou část střešní konstrukce zastupuje vazník, který má tvar oblouku. Oblouk je příhradový. S osovou vzdáleností horního a dolního pásu 3,0 m a osou vzdáleností vazníků 5,0 m. Prostorová tuhost je zajištěna v příčném i v podélném směru ztužidly, který jsou rozmístěny symetricky. Bakalářská práce obsahuje statický výpočet vaznice, vazníku, štítové stěny a spoje. Celá střešní konstrukce je pak oplášťena panely.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ocelová konstrukce, zimní stadion, zatížení, zastřešení, statický výpočet, vazník, obloukový příhradový nosník, ztužidla, spoje, svar, šroub, nosná konstrukce

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the design and assessment of a steel roof structure of the winter stadium in the city of Olomouc. The new layout solution takes into account the current dimensions of the stadium. Ground plan dimensions of the structure are 101x73 m with the maximum height of 30.5 m. The main load-bearing part of the roof structure is represented by a truss, which has the shape of an arch. The arch is latticed. With an axial distance of the upper and the lower belt of 3.0 m and axial distance of the trusses of 5.0 m. Spatial rigidity is ensured in the transverse and longitudinal directions by stiffeners, which are distributed symmetrically. The bachelor thesis contains a static calculation of purlins, truss, gable wall and of joints. The whole roof structure is then clad with panels.

KEYWORDS

Steel structure, winter stadium, load, roofing, static calculation, truss, arched lattice girder, stiffeners, joints, weld, screw, load-bearing structure

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Filip Kašpír *Zastřešení zimního stadionu*. Brno, 2020. 106 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Martin Horáček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Zastřešení zimního stadionu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 2. 2020

Filip Kašpír

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Zastřešení zimního stadionu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 2. 2020

Filip Kašpír

autor práce

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Martinu Horáčkovi, Ph.D., za velmi cenné rady, ochotu, čas, trpělivost a za rychlost odpovědí na dotazy.

Filip Kašpír

Obsah

GEOMETRIE KONSTRUKCE11

1.1	PŮDORYS	11
1.2	PŘÍČNÝ ŘEZ.....	12
1.3	ŠTÍTOVÁ STĚNA.....	12
1.4	PROSTOROVÝ MODEL	13

2 ZATÍŽENÍ.....14

2.1	ZATÍŽENÍ STÁLÁ.....	14
2.1.1	VLASTNÍ TÍHA NOSNÉ KONSTRUKCE.....	14
2.1.2	VLASTNÍ TÍHA VAZNICE	14
2.1.3	VLASTNÍ TÍHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ	14
2.1.4	VLASTNÍ TÍHA MULTIMEDIÁLNÍ KOSTY	15
2.2	ZATÍŽENÍ PROMĚNNÁ	16
2.2.1	ZATÍŽENÍ SNĚHEM.....	16
2.2.1.1	SNÍH NENAVÁTÝ	16
2.2.1.2	SNÍH NAVÁTÝ 1	17
2.2.1.3	SNÍH NAVÁTÝ 2	20
2.2.1.4	SNÍH POLOVIČNÍ	22
2.2.2	ZATÍŽENÍ VĚTREM.....	23
2.2.2.1	VÍTR PŘÍČNÝ	25
2.2.2.2	VÍTR PODÉLNÝ	26
2.1	STABILITNÍ SÍLY	30
2.2	ZATĚŽOVACÍ STAVY	33
2.3	KOMBINACE ZATÍŽENÍ	33

3 POU SOUZENÍ PRŮŘEZŮ35

3.1	VAZNICE	35
-----	---------------	----

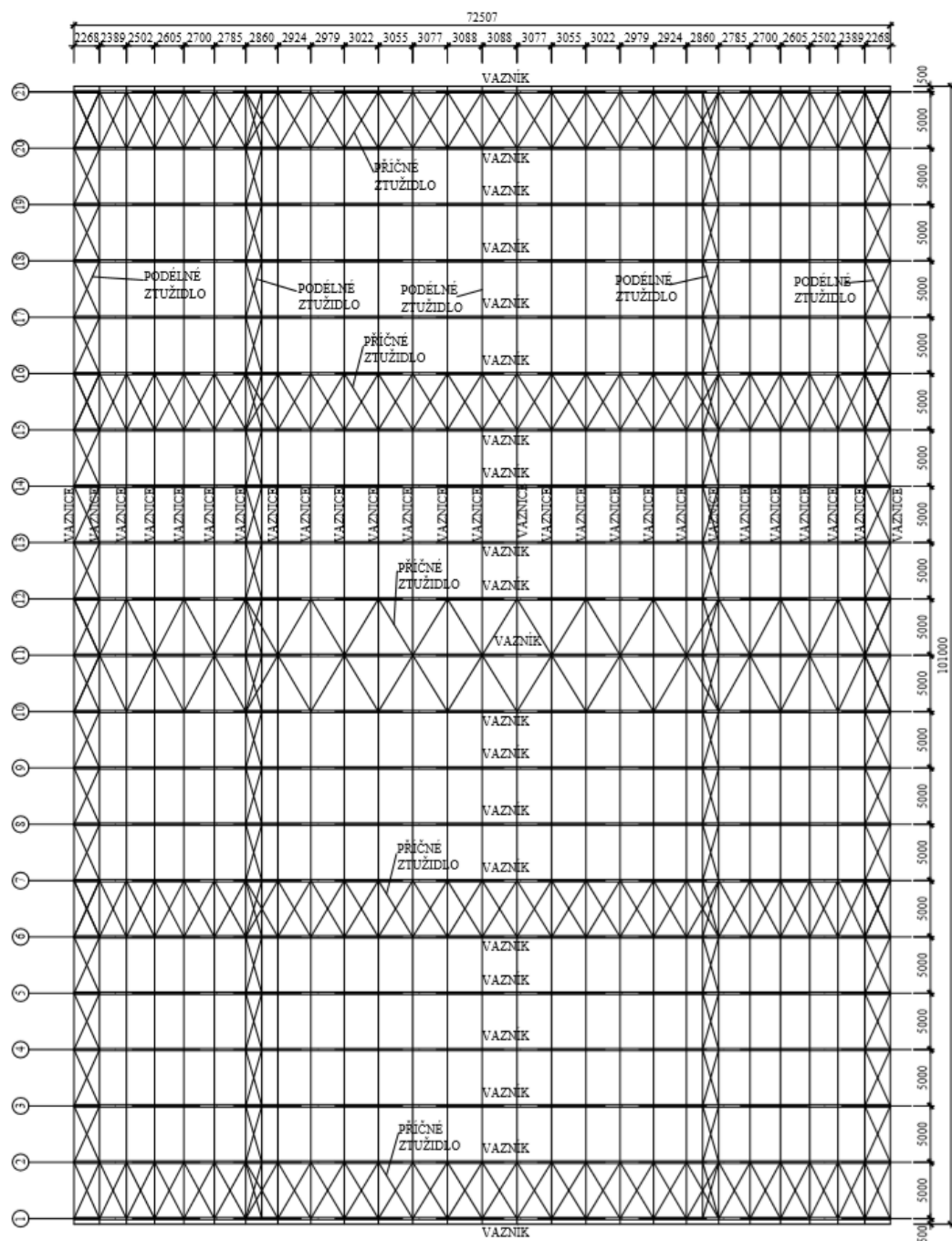
3.2	HORNÍ PÁS – KRAJE	42
3.3	HORNÍ PÁS – STŘEDNÍ ČÁST.....	47
3.4	DOLNÍ PÁS – KRAJE.....	52
3.5	DOLNÍ PÁS – STŘEDNÍ ČÁST	57
3.6	DIAGONÁLY A SVISLICE	62
3.7	PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO.....	65
3.8	PODÉLNÉ ZTUŽIDLO.....	68
3.9	PAŽDÍKY	70
3.10	SLOUPY.....	73
4	GLOBÁLNÍ STABILITA VAZNÍKU.....	80
4.1	MOMENT UPROSTŘED ROZPĚTÍ	80
4.2	NEJVĚTŠÍ OHYBOVÝ MOMENT.....	81
5	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	82
5.1	VAZNICE	82
5.2	VAZNÍK	82
5.3	SLOUP	83
6	SPOJE.....	84
6.1	PŘIPOJENÍ VAZNÍKU	84
6.1.1	NÁVRH ČEPU	84
6.1.2	NÁVRH PATNÍ DESKY	86
6.1.3	NÁVRH ŠROUBU	86
6.1.3.1	KOTVENÍ ŠROUBŮ 4xM27.....	87
6.1.3.2	PŘIPOJENÍ PATNÍ DESKY A SVISLÝCH PLECHŮ	88
6.2	PŘIPOJENÍ DIAGONÁL A SVISLIC K DOLNÍMU PÁSU	90
6.2.1	VSTUPNÍ HODNOTY.....	90
6.2.2	PODMÍNKY PRO ZANEDBÁNÍ EXCENTRICITY	90

6.3	MONTÁŽNÍ SPOJ HORNÍHO PÁSU	95
6.3.1	NÁVRH DESKY	95
6.3.2	NÁVRH ŠROUBŮ M16 5.8	95
6.3.2. 1	PORUŠENÍ ČELNÍ DESKY	95
6.3.2. 2	PORUŠENÍ ŠROUBŮ	96
6.3.2. 3	PORUŠENÍ ŠROUBŮ A ČELNÍ DESKY	96
6.3.2. 4	PORUŠENÍ SVARŮ	96
6.4	MONTÁŽNÍ SPOJ DOLNÍHO PÁSU	98
6.4.1	NÁVRH DESKY	98
6.4.2	NÁVRH ŠROUBU M16 5.8	98
6.4.2. 1	PORUŠENÍ ČELNÍ DESKY	98
6.4.2. 2	PORUŠENÍ ŠROUBŮ	99
6.4.2. 3	PORUŠENÍ ŠROUBŮ A ČELNÍ DESKY	99
6.4.2. 4	PORUŠENÍ SVARŮ	99
6.5	MONTÁŽNÍ SPOJ DIAGONÁLY	101
6.5.1	NÁVRH DESKY	101
6.5.2	NÁVRH ŠROUBŮ M27 8.8	101
6.5.2. 1	POSOUZENÍ ŠROUBŮ M27 8.8	101
6.5.2. 2	PORUŠENÍ SVARŮ	102
7	POUŽITÁ LITERATURA	104
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	105
9	SEZNAM TABULEK	106

GEOMETRIE KONSTRUKCE

1.1 PŮDORYS

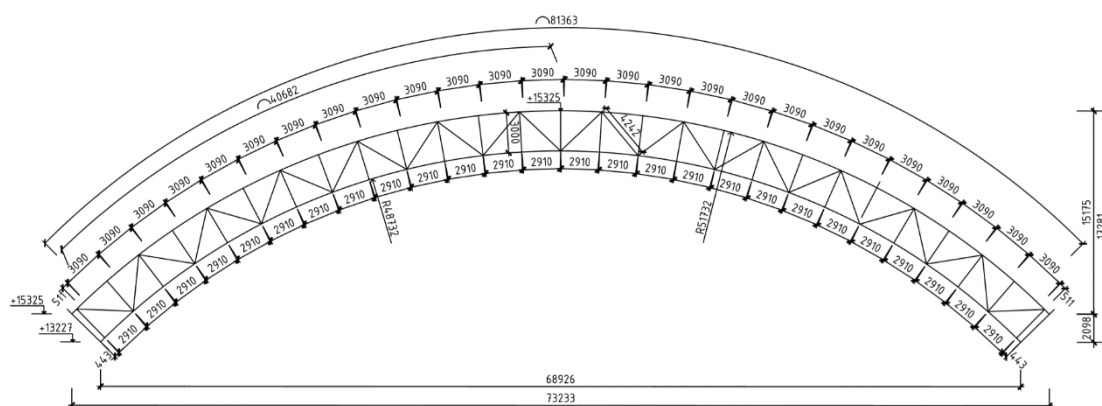
PŮDORYSNÉ ROZMĚRY STŘEŠNÍ KONSTRUKCE ZIMNÍHO STADIONU BYLY NAVRHNUTY NA ZÁKLADĚ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE A VELIKOSTI POZEMKU. ZA TĚCHTO PŘEDPOKLADŮ BYL ZVOLEN PŮDORYS ZIMNÍHO STADIONU O ROZMĚRECH 73 x 101 m.



Obrázek 1 - PŮDORYS ZASTŘEŠENÍ KONSTRUKCE

1.2 PŘÍČNÝ ŘEZ

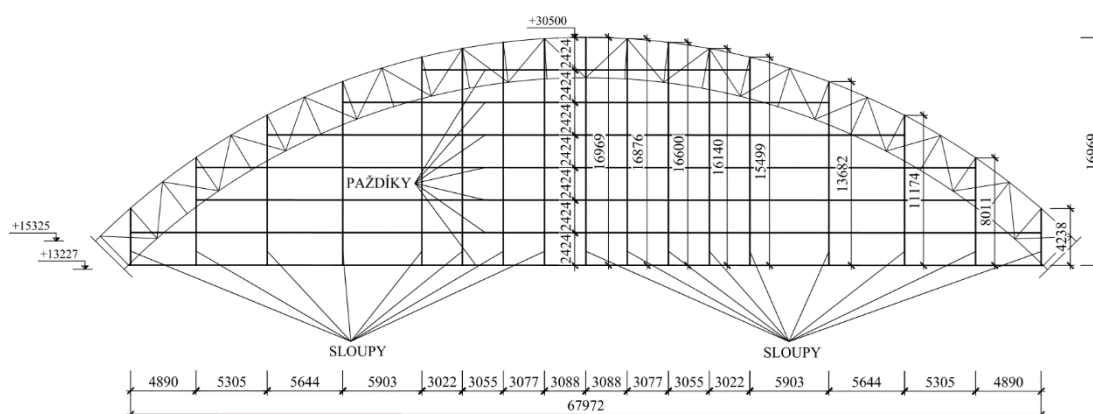
Výškové rozměry byly voleny na základě poloměru oblouku střešní konstrukce a výšky tribun. Vazník je tvořen z příhradového oblouku. Poloměr oblouku horního pásu je 51,732 m a poloměr spodního pásu je 48,732 m. Maximální výška zimního stadionu je pak 30,5 m.



Obrázek 2 - Schéma příčného řezu

1.3 ŠTÍTOVÁ STĚNA

Štítová stěna je tvořena sloupy a paždíky. Štítové stěny jsou předsazeny o 0,5 m od krajních vazníků. Rozmístění sloupů není pravidelné. Paždíky jsou rozmístěny v osové vzdálenosti po 2,413 m.



Obrázek 3 - Schéma štítové stěny

1.4 PROSTOROVÝ MODEL

Prostorový model byl vytvořen ve studentské verzi programu Dlubal RFEM. Prostorový model tvoří 21 vaznic, které jsou od sebe osově vzdáleny po 5 m. Vaznice se skládá z horního a dolní pásu, svislic a diagonál. Horní a dolní pás je kloubově uložen do betonové konstrukce. Oblouky vaznice jsou složeny ze zakřivených prutů. Diagonály a svislice jsou připojeny k hornímu a dolnímu pásu tuhou vazbou.

2 ZATÍŽENÍ

Stanovení zatížení bylo provedeno na základě normy ČSN EN 1991-1.

2.1 ZATÍŽENÍ STÁLÁ

2.1.1 VLASTNÍ TÍHA NOSNÉ KONSTRUKCE

Vlastní tíha nosné střešní konstrukce je zjištěna pomocí programu Dlubal R-FEM.

2.1.2 VLASTNÍ TÍHA VAZNICE

Předběžný odhad IPE 300 $\rightarrow m = 42,2 \text{ kg/m}$

$$\gamma_g = 1,35$$

$$g_{k,v} = \frac{m}{100} = \frac{42,2}{100} = 0,42 \text{ kN/m}$$

$$g_{d,v} = \frac{m}{100} \cdot \gamma_g = \frac{42,2}{100} \cdot 1,35 = 0,57 \text{ kN/m}$$

2.1.3 VLASTNÍ TÍHA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

Střešní plášť je od společnosti Kingspan. Skládá se ze střešních panelů KS1000 TOP-DEK pro ploché a obloukové střechy.

Základní parametry střešního panelu:

d-tloušťka izolačního jádra.....100 mm

D-celková tloušťka panelu.....130 mm

Hmotnost.....12,35 kg/m²

Výpočet zatížení od střešního pláště pro vaznici 14:

$$\gamma_g = 1,35$$

$$g_{k,v} = \frac{m}{100} \cdot z_s = \frac{12,35}{100} \cdot 3,088 = 0,38 \text{ kN/m}$$

$$g_{d,v} = g_{k,v} \cdot \gamma_g = 0,38 \cdot 1,35 = 0,51 \text{ kN/m}$$

Tab. 1 - Zatížení od střešního pláště působící na vaznice

Vaznice	Půdorysné vzdálenosti [m]	ZŠ [m]	Vl. tíha střeš. kryt. g_{1k} [kN/m]	Vl. tíha střeš. kryt. g_{1d} [kN/m]
14	3,088	3,088	0,38	0,51
13	3,077	3,083	0,38	0,51
12	3,055	3,066	0,38	0,51
11	3,022	3,039	0,38	0,51
10	2,979	3,000	0,37	0,50
9	2,924	2,951	0,36	0,49
8	2,860	2,892	0,36	0,48
7	2,785	2,822	0,35	0,47
6	2,700	2,742	0,34	0,46
5	2,605	2,653	0,33	0,44
4	2,502	2,553	0,32	0,43
3	2,389	2,445	0,30	0,41
2	2,268	2,328	0,29	0,39
1	0,363	1,315	0,16	0,22

2.1.4 VLASTNÍ TÍHA MULTIMEDIÁLNÍ KOSTY

Multimediální kostka je zavěšena na čtyřech táhlech. Táhla jsou přichycena k dolním pásům obloukových příhradových vaznic, přesněji se jedná o vaznice s pořadovým číslem 10 a 12. Táhla působí jako osamělé síly v místě přípoje k dolnímu pásu. Rozměry multimediální kostky jsou voleny na základě běžných rozměrů. Multimediální kostka se skládá z ocelové konstrukce, na které se nachází osm obrazovek.

Základní parametry multimediální kostky:

h-Výška.....5 m

b-Šířka.....6 m

d-Délka.....10 m

m-Hmotnost multimediální kostky.....5000 kg

n-Počet zavěšení.....4

$$N = \frac{m}{100} = \frac{5000}{100} = 50 \text{ kN} \quad g_{mk,i,k} = \frac{N}{n} = \frac{50}{4} = 12,5 \text{ kN}$$

$$\gamma_g = 1,35$$

$$g_{mk,i,d} = g_{mk,i,k} \cdot \gamma_g = 12,5 \cdot 1,35 = 16,88 \text{ kN}$$

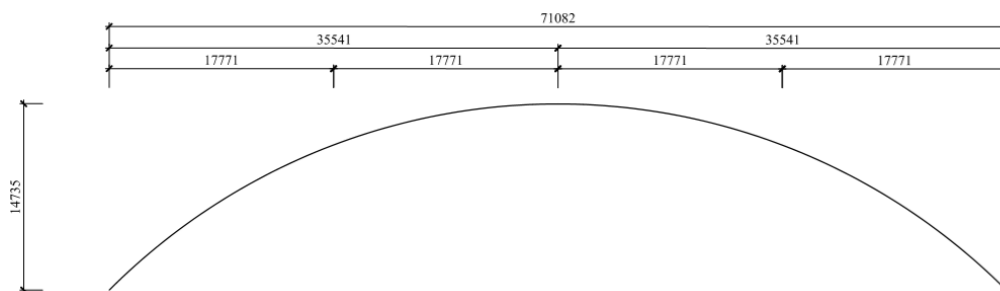
2.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÁ

2.2.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Zimní stadion se nachází ve městě Olomouc.

Sněhová oblast II $\rightarrow s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Nadmořská výška 219 m.n.m. $\rightarrow h \leq 1000 \text{ m.n.m.}$



Obrázek 4 - Schéma pro výpočet od zatížení sněhem

$c_e \rightarrow$ kategorie terénu \rightarrow normální $= 1,0$

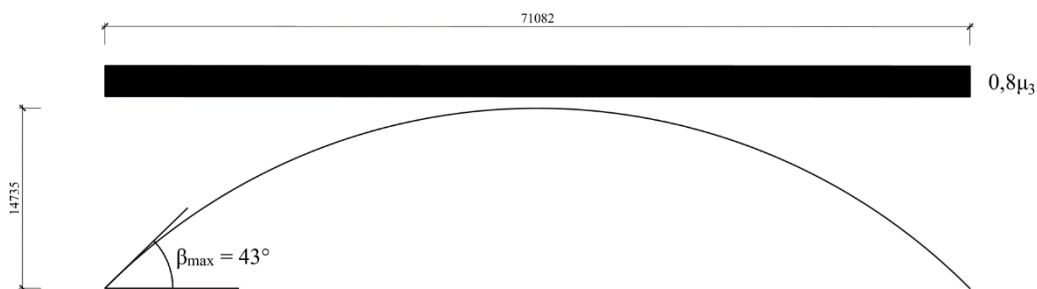
$c_t \rightarrow$ teplotní propustnost $\rightarrow 1,0$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \cdot \frac{14375}{71082} = 2,22 \rightarrow \text{maximální hodnota } \mu_3 = 2,0$$

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \text{ kN/m}^2$$

2.2.1.1 SNÍH NENAVÁTÝ

Maximální sklon střechy $\beta_{max} = 43^\circ \leq 60^\circ \rightarrow$ sníh po celé střeše



Obrázek 5 - Schéma pro výpočet zatížení od nenavátého sněhu

$$s_{k,ne} = 0,8 \cdot \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet zatížení od nenavátého sněhu pro vaznici 14:

$$\gamma_q = 1,5$$

$$s_{k,ne,14} = s_{k,ne} \cdot z_{\check{s}} = 1,6 \cdot 3,088 = 4,94 \text{ kN/m}$$

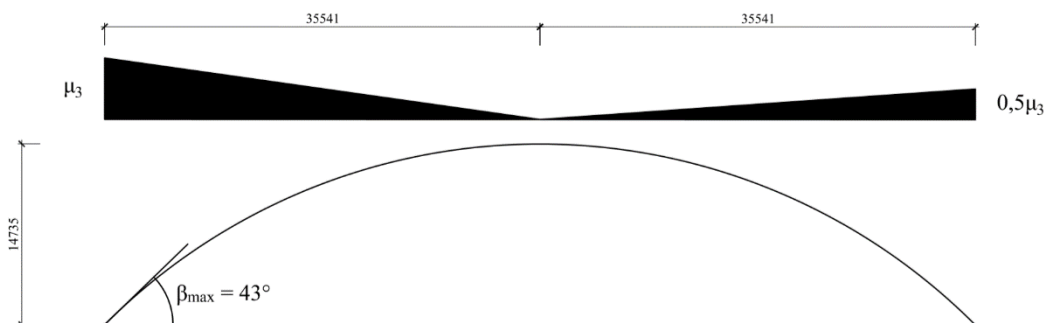
$$s_{d,ne,14} = s_{k,ne,14} \cdot \gamma_q = 4,94 \cdot 1,5 = 7,41 \text{ kN/m}$$

Tab. 2 - Zatížení na vaznice od nenavátého sněhu

Vaznice	Půdorysné vzdálenosti [m]	ZŠ [m]	Sníh nenavátý $s_{k,ne}$ [kN/m]	Sníh nenavátý $s_{d,ne}$ [kN/m]
14	3,088	3,088	4,94	7,41
13	3,077	3,083	4,93	7,40
12	3,055	3,066	4,91	7,36
11	3,022	3,039	4,86	7,29
10	2,979	3,000	4,80	7,20
9	2,924	2,951	4,72	7,08
8	2,860	2,892	4,63	6,94
7	2,785	2,822	4,52	6,77
6	2,700	2,742	4,39	6,58
5	2,605	2,653	4,24	6,37
4	2,502	2,553	4,09	6,13
3	2,389	2,445	3,91	5,87
2	2,268	2,328	3,73	5,59
1	0,363	1,315	2,10	3,16

2.2.1.2 SNÍH NAVÁTÝ 1

Maximální sklon střechy $\beta = 43^\circ \leq 60^\circ \rightarrow$ sníh po celé střeše



Obrázek 6 - Schéma pro výpočet zatížení od sněhu navátého 1

$$s_{k,n1;\mu} = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{k,n1;0,5\mu} = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet zatížení od sněhu navátého 1 pro vaznici 5 (μ):

$$\gamma_q = 1,5$$

$$L_5 = 11,295 \text{ m}$$

$$L_4 = 8,642 \text{ m}$$

$$k_5 = \frac{73,23262 - 2 \cdot L}{36,61631} = \frac{73,23262 - 2 \cdot 11,295}{36,61631} = 1,383 \text{ kN/m}^2$$

$$k_4 = \frac{73,23262 - 2 \cdot L}{36,61631} = \frac{73,23262 - 2 \cdot 8,642}{36,61631} = 1,528 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{k,n1,14;\mu} = \frac{(k_5 + k_4) \cdot z_{š5}}{2} = \frac{(1,383 + 1,528) \cdot 2,653}{2} = 3,86 \text{ kN/m}$$

$$s_{d,n1,14;\mu} = s_{k,n1,14;\mu} \cdot \gamma_q = 3,86 \cdot 1,5 = 5,79 \text{ kN/m}$$

Tab. 3 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 1

Vaznice	Přodorysné vzdálenosti [m]	ZŠ [m]	Sníh navátý 1 (μ)k [kN/m]	Sníh navátý 1 (0,5μ)k [kN/m]
14	3,088	3,088	0,11	0,11
13	3,077	3,083	0,55	0,28
12	3,055	3,066	1,06	0,53
11	3,022	3,039	1,56	0,78
10	2,979	3,000	2,03	1,02
9	2,924	2,951	2,48	1,24
8	2,860	2,892	2,89	1,45
7	2,785	2,822	3,26	1,63
6	2,700	2,742	3,59	1,79
5	2,605	2,653	3,86	1,93
4	2,502	2,553	4,08	2,04
3	2,389	2,445	4,24	2,12
2	2,268	2,328	4,34	2,17
1	0,363	1,315	2,58	1,29

Tab. 4 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 1 - pomocné výpočty

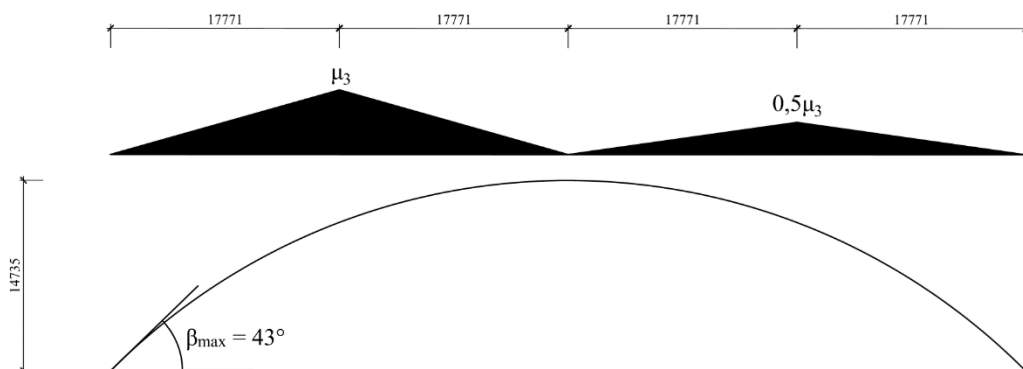
Pomocné výpočty			
	-	Sníh navátý 1 (μ)k [kN/m ²]	Sníh navátý 1 (0,5 μ)k [kN/m ²]
	L [m]	$(73,23262-2 \cdot L)/36,61631$	$(36,61631-L)/36,61631$
Vaznice	-	0,073	0,036
14	37,979	0,000	0,000
13	34,891	0,094	0,047
12	31,808	0,263	0,131
11	28,742	0,430	0,215
10	25,703	0,596	0,298
9	22,703	0,760	0,380
8	19,751	0,921	0,461
7	16,859	1,079	0,540
6	14,037	1,233	0,617
5	11,295	1,383	0,692
4	8,642	1,528	0,764
3	6,089	1,667	0,834
2	3,643	1,801	0,900
1	1,315	1,928	0,964
	0	2,000	1,000

Tab. 5 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 1 – návrhové hodnoty

Sníh navátý 1 (μ)d [kN/m ²]	Sníh navátý 1 (0,5 μ)d [kN/m ²]
0,16	0,16
0,83	0,41
1,59	0,80
2,34	1,17
3,05	1,53
3,72	1,86
4,34	2,17
4,89	2,45
5,38	2,69
5,79	2,90
6,12	3,06
6,36	3,18
6,51	3,26
3,87	1,94

2.2.1.3 SNÍH NAVÁTÝ 2

Maximální sklon střechy $\beta = 43^\circ \leq 60^\circ \rightarrow$ sníh po celé střeše



Obrázek 7 - Schéma pro výpočet zatížení od sněhu navátého 2

$$s_{k,n1;\mu} = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{k,n1;0,5\mu} = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet zatížení od sněhu navátého 2 pro vaznici 5 (μ):

$$\gamma_q = 1,5$$

$$L_5 = 11,295 \text{ m}$$

$$L_4 = 8,642 \text{ m}$$

$$k_5 = \frac{18,308153 + L}{9,1540752} - 2 = \frac{18,308153 + 11,295}{9,1540752} - 2 = 1,234 \text{ kN/m}^2$$

$$k_4 = \frac{18,308153 + L}{9,1540752} - 2 = \frac{18,308153 + 8,642}{9,1540752} - 2 = 0,944 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{k,n1,14;\mu} = \frac{(k_5 + k_4) \cdot z_{\check{5}}}{2} = \frac{(1,234 + 0,944) \cdot 2,653}{2} = 2,89 \text{ kN/m}$$

$$s_{d,n1,14;\mu} = s_{k,n1,14;\mu} \cdot \gamma_q = 2,89 \cdot 1,5 = 4,34 \text{ kN/m}$$

Tab. 6 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 2

Vaznice	Půdorysné vzdálenosti [m]	ZŠ [m]	Sníh navátý 2 (μ)k [2kN/m]	Sníh navátý 2 (0,5 μ)k [1kN/m]
14	3,088	3,088	0,44	0,44
13	3,077	3,083	1,10	0,55
12	3,055	3,066	2,12	1,06
11	3,022	3,039	3,12	1,56
10	2,979	3,000	4,07	2,03
9	2,924	2,951	4,96	2,48
8	2,860	2,892	5,56	2,78
7	2,785	2,822	4,76	2,38
6	2,700	2,742	3,79	1,90
5	2,605	2,653	2,89	1,44
4	2,502	2,553	2,05	1,03
3	2,389	2,445	1,30	0,65
2	2,268	2,328	0,63	0,32
1	0,363	1,315	0,09	0,05

Tab. 7 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 2 - pomocné výpočty

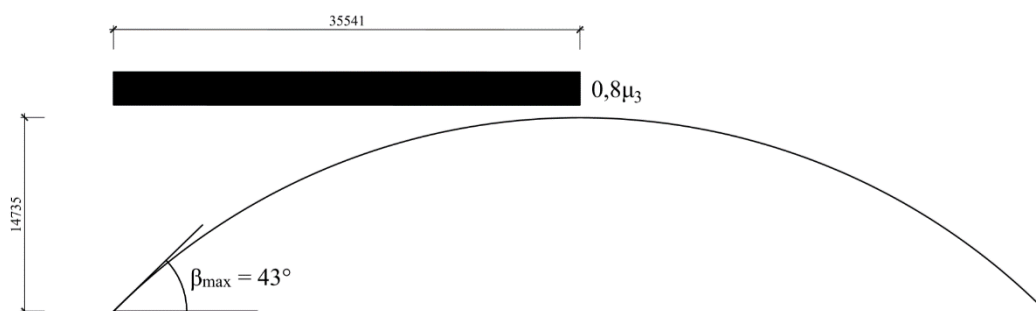
Pomocné výpočty			
Vaznice	-	Sníh navátý 2 (μ)k [kN/m ²]	Sníh navátý 2 (0,5 μ)k [kN/m ²]
	L [m]	(18,308153 \pm L)/9,1540752 \pm 2	(18,30815 \pm L)/18,30815 \pm 1
	-	0,291	0,146
14	37,979	0,000	0,000
13	34,891	0,188	0,094
12	31,808	0,525	0,263
11	28,742	0,860	0,430
10	25,703	1,192	0,596
9	22,703	1,520	0,760
8	19,751	1,842	0,921
7	16,859	1,842	0,921
6	14,037	1,533	0,767
5	11,295	1,234	0,617
4	8,642	0,944	0,472
3	6,089	0,665	0,333
2	3,643	0,398	0,199
1	1,315	0,144	0,072
	0	0,000	0,000
		2,809	1,405
		2,746	1,373

Tab. 8 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 2 – návrhové hodnoty

Sníh navátý 2 (μ)d [kN/m ²]	Sníh navátý 2 (0,5 μ)d [kN/m ²]
0,65	0,65
1,65	0,83
3,19	1,59
4,68	2,34
6,10	3,05
7,44	3,72
8,33	4,17
7,14	3,57
5,69	2,85
4,33	2,17
3,08	1,54
1,95	0,97
0,95	0,47
0,14	0,07

2.2.1. 4 SNÍH POLOVIČNÍ

Maximální sklon střechy $\beta = 43^\circ \leq 60^\circ \rightarrow$ sníh po celé střeše



Obrázek 8 - Schéma pro výpočet zatížení od sněhu nenavátého poloviční

$$s_{k,ne} = 0,8 \cdot \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet zatížení od nenavátého sněhu pro vaznici 14:

$$\gamma_q = 1,5$$

$$s_{k,ne,14} = s_{k,ne} \cdot z_{\text{š}} = 1,6 \cdot 3,088 = 4,94 \text{ kN/m}$$

$$s_{d,ne,14} = s_{k,ne,14} \cdot \gamma_q = 4,94 \cdot 1,5 = 7,41 \text{ kN/m}$$

Tab. 9 - Zatížení na vaznice od nenavátého sněhu

Vaznice	Půdorysné vzdálenosti [m]	ZŠ [m]	Sníh nenavátý $S_{k,ne}$ [kN/m]	Sníh nenavátý $S_{d,ne}$ [kN/m]
14	3,088	3,088	4,94	7,41
13	3,077	3,083	4,93	7,40
12	3,055	3,066	4,91	7,36
11	3,022	3,039	4,86	7,29
10	2,979	3,000	4,80	7,20
9	2,924	2,951	4,72	7,08
8	2,860	2,892	4,63	6,94
7	2,785	2,822	4,52	6,77
6	2,700	2,742	4,39	6,58
5	2,605	2,653	4,24	6,37
4	2,502	2,553	4,09	6,13
3	2,389	2,445	3,91	5,87
2	2,268	2,328	3,73	5,59
1	0,363	1,315	2,10	3,16

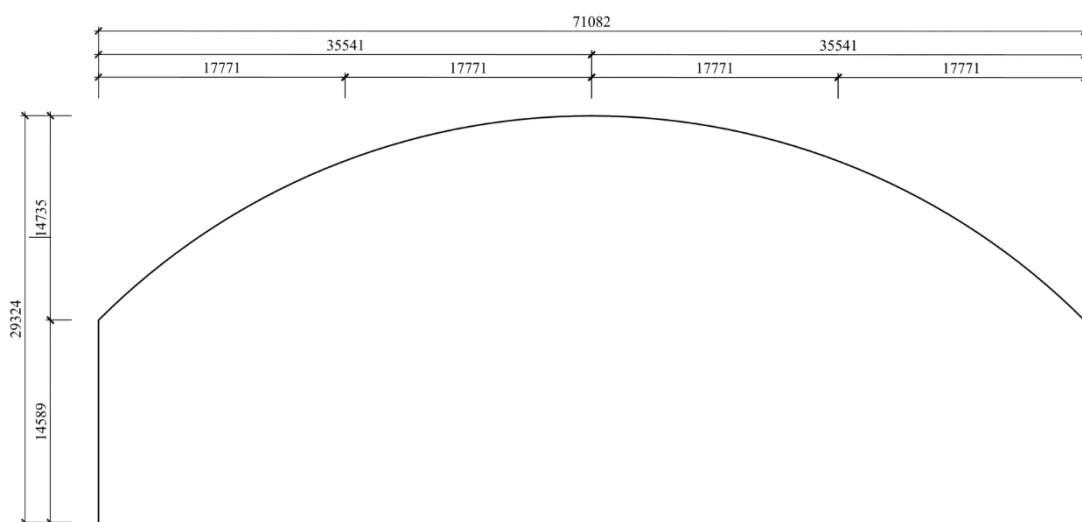
2.2.2 ZATÍŽENÍ VĚTREM

Zimní stadion se nachází ve městě Olomouc.

Olomouc spadá do větrové oblasti I $\rightarrow v_{b,o} = 22,5 \text{ m/s}$

Pozemek, na kterém je zimní stadion, je v městské zastavěné části \rightarrow kategorie terénu III.

Měrná rychlost vzduchu $\rightarrow \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$



Obrázek 9 - Schéma pro výpočet od zatížení větrem

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 22,5 = 22,5 \text{ m/s}$$

$c_{dir} \rightarrow$ součinitel směru větru $\rightarrow 1,0$

$c_{season} \rightarrow$ součinitel ročního období $\rightarrow 1,0$

Charakteristická střední rychlost větru ve výšce z nad terénem

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{o(z)} \cdot v_b = 0,995 \cdot 1 \cdot 22,5 = 22,40 \text{ m/s}$$

Součinitel drsnosti terénu

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,2154 \cdot \ln\left(\frac{30,5}{0,3}\right) = 0,995$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z = 30,5 \text{ m}$$

Turbulence větru

$$I_{v(z)} = \frac{k_1}{c_{o(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{30,5}{0,3}\right)} = 0,216$$

$$k_1 = 1,0$$

$$c_{o(z)} = 1,0$$

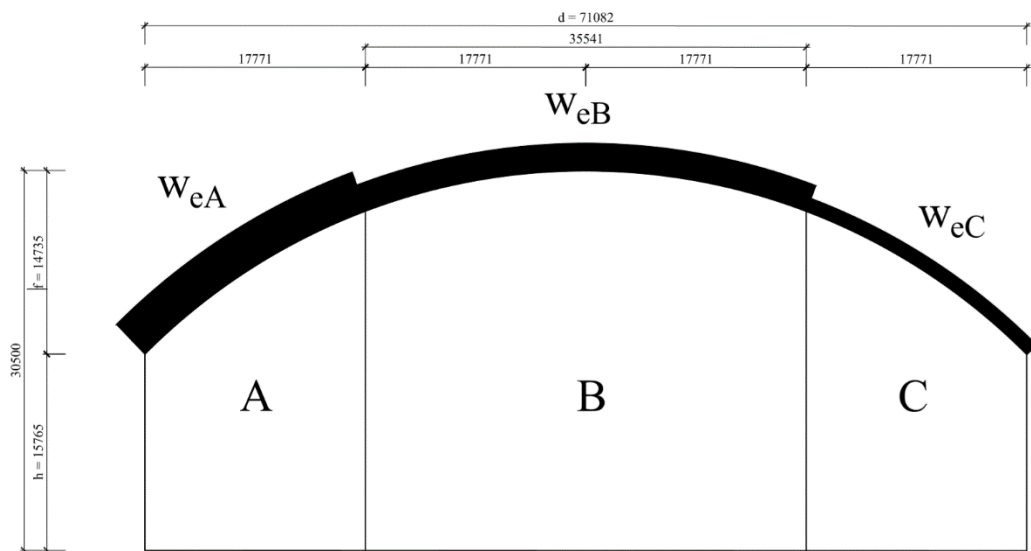
Maximální dynamický tlak větru

$$q_{p(z)} = \left[1 + 7 \cdot I_{v(z)}\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{m(z)}^2 = [1 + 7 \cdot 0,216] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,40^2 =$$
$$= 788,43 \text{ Pa}$$

Tlak větru na povrchu obecně

$$w_e = q_{p(z)} \cdot c_{pe,i}$$

2.2.2.1 VÍTR PŘÍČNÝ



Obrázek 10 - Schématický obrázek pro výpočet účinků od příčného větru

$$\gamma_q = 1,5$$

$$z_{\check{S}} = 3,09 \text{ m}$$

$$\frac{f}{d} = \frac{14735}{71082} = 0,207$$

$$\frac{h}{d} = \frac{15765}{71082} = 0,222 \leq 0,5$$

$$c_{pe,10A} = 0,3552$$

$$c_{pe,10B} = -0,9222$$

$$c_{pe,10C} = -0,4$$

$$w_{eA,k} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10A} \cdot z_{\check{S}} = 0,788 \cdot 0,3552 \cdot 3,09 = 0,87 \text{ kN/m}$$

$$w_{eB,k} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10B} \cdot z_{\check{S}} = 0,788 \cdot (-0,9222) \cdot 3,09 = -2,25 \text{ kN/m}$$

$$w_{eC,k} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10C} \cdot z_{\check{S}} = 0,788 \cdot (-0,4) \cdot 3,09 = -0,97 \text{ kN/m}$$

$$w_{eA,d} = w_{eA,k} \cdot \gamma_q = -0,98 \cdot 1,5 = 1,30 \text{ kN/m}$$

$$w_{eB,d} = w_{eB,k} \cdot \gamma_q = -2,25 \cdot 1,5 = -3,37 \text{ kN/m}$$

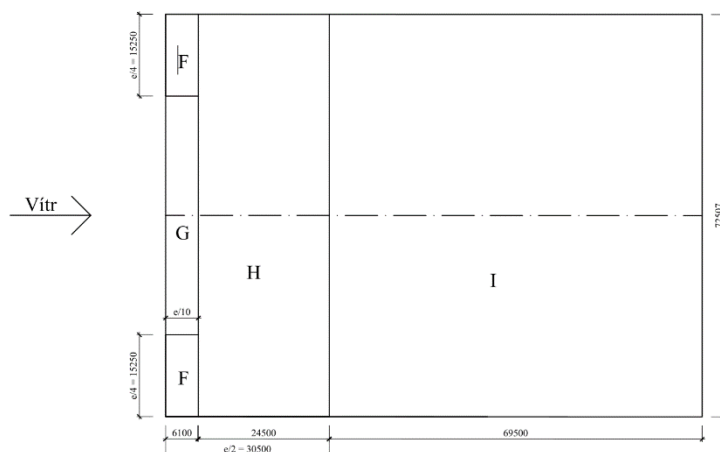
$$w_{eC,d} = w_{eC,k} \cdot \gamma_q = -0,98 \cdot 1,5 = -1,46 \text{ kN/m}$$

Tab. 10 - Zatížení od příčného větru na jednotlivé vaznice

Vaznice	ZŠ [m]	Vítr (tlak) příčný w_{ek} [kn/m]	Vítr (sání) příčný w_{ek} [kn/m]	Vítr (tlak) příčný w_{ed} [kn/m]	Vítr (sání) příčný w_{ed} [kn/m]
14	3,090	-	-2,25	-	-3,37
13	3,090	-	-2,25	-	-3,37
12	3,090	-	-2,25	-	-3,37
11	3,090	-	-2,25	-	-3,37
10	3,090	-	-2,25	-	-3,37
9	3,090	-	-2,25	-	-3,37
8	3,090	-	-2,25	-	-3,37
7	3,090	0,61	-1,08	0,91	-1,62
6	3,090	0,87	-0,97	1,30	-1,46
5	3,090	0,87	-0,97	1,30	-1,46
4	3,090	0,87	-0,97	1,30	-1,46
3	3,090	0,87	-0,97	1,30	-1,46
2	3,090	0,87	-0,97	1,30	-1,46
1	2,013	0,56	-0,63	0,85	-0,95

2.2.2. 2 VÍTR PODÉLNÝ

Působení podélného větru na střešní konstrukci



Obrázek 11 - Schématický obrázek pro výpočet účinků zatížení od podélného větru

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{100; 61\} = 61 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{61}{2} = 30,5 \text{ m} \quad \frac{e}{4} = \frac{61}{4} = 15,25 \text{ m} \quad \frac{e}{10} = \frac{61}{10} = 6,10 \text{ m}$$

Výpočet zatížení od podélného větru pro vaznici 14:

$$\gamma_q = 1,5$$

$$z_{\check{s}} = 3,09$$

$$c_{pe,10G,14} = -1,250$$

$$c_{pe,10H,14} = -0,700$$

$$c_{pe,10I,14} = -0,600$$

$$w_{eG,k,14} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10G,14} \cdot z_{\check{s}} = 0,788 \cdot (-1,250) \cdot 3,09 = -3,05 \text{ kN/m}$$

$$w_{eH,k,14} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10H,14} \cdot z_{\check{s}} = 0,788 \cdot (-0,700) \cdot 3,09 = -1,71 \text{ kN/m}$$

$$w_{eI,k,14} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10I,14} \cdot z_{\check{s}} = 0,788 \cdot (-0,600) \cdot 3,09 = -1,46 \text{ kN/m}$$

$$w_{eH,d,14} = w_{eH,k,14} \cdot \gamma_q = -3,05 \cdot 1,5 = -4,57 \text{ kN/m}$$

$$w_{eG,d,14} = w_{eG,k,14} \cdot \gamma_q = -1,71 \cdot 1,5 = -2,56 \text{ kN/m}$$

$$w_{eI,d,14} = w_{eI,k,14} \cdot \gamma_q = -1,46 \cdot 1,5 = -2,19 \text{ kN/m}$$

Tab. 11 - Hodnoty $C_{pe,10}$ pro každou vaznici

Vaznice	$C_{pe,10}$		$W_{eG,k}$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$		$W_{eH,k}$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$		$W_{eI,k}$ [kN/m ²]
14	-1,250	$c_{pe,10}$ G	-0,99	-0,700	$c_{pe,10}$ H	-0,55	-0,600	$c_{pe,10}$ I	-0,47
13	-1,284	$c_{pe,10}$ G	-1,01	-0,700	$c_{pe,10}$ H	-0,55	-0,600	$c_{pe,10}$ I	-0,47
12	-1,300	$c_{pe,10}$ G	-1,02	-0,682	$c_{pe,10}$ H	-0,54	-0,582	$c_{pe,10}$ I	-0,46
11	-1,300	$c_{pe,10}$ G	-1,02	-0,648	$c_{pe,10}$ H	-0,51	-0,548	$c_{pe,10}$ I	-0,43
10	-1,300	$c_{pe,10}$ G	-1,02	-0,614	$c_{pe,10}$ H	-0,48	-0,514	$c_{pe,10}$ I	-0,40
9	-1,314	$c_{pe,10}$ G	-1,04	-0,627	$c_{pe,10}$ H	-0,49	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
8	-1,336	$c_{pe,10}$ G	-1,05	-0,673	$c_{pe,10}$ H	-0,53	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
7	-1,359	$c_{pe,10}$ G	-1,07	-0,719	$c_{pe,10}$ H	-0,57	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
6	-1,382	$c_{pe,10}$ F	-1,09	-0,764	$c_{pe,10}$ H	-0,60	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
5	-1,100	$c_{pe,10}$ F	-0,87	-0,805	$c_{pe,10}$ H	-0,63	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
4	-1,100	$c_{pe,10}$ F	-0,87	-0,828	$c_{pe,10}$ H	-0,65	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
3	-1,100	$c_{pe,10}$ F	-0,87	-0,850	$c_{pe,10}$ H	-0,67	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
2	-1,100	$c_{pe,10}$ F	-0,87	-0,873	$c_{pe,10}$ H	-0,69	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39
1	-1,100	$c_{pe,10}$ F	-0,87	-0,896	$c_{pe,10}$ H	-0,71	-0,500	$c_{pe,10}$ I	-0,39

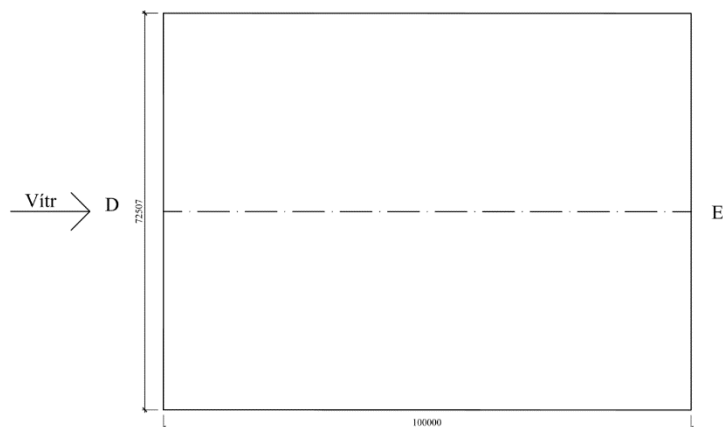
Tab. 12 - Charakteristické hodnoty zatížení od podélného větru

Vaznice	ZŠ [m]	Vítr podélný F [kN/m]	Vítr podélný G [kN/m]	Vítr podélný H [kN/m]	Vítr podélný I [kN/m]
14	3,090	-	-3,05	-1,71	-1,46
13	3,090	-	-3,13	-1,71	-1,46
12	3,090	-	-3,17	-1,66	-1,42
11	3,090	-	-3,17	-1,58	-1,34
10	3,090	-	-3,17	-1,49	-1,25
9	3,090	-	-3,20	-1,53	-1,22
8	3,090	-	-3,26	-1,64	-1,22
7	3,090	-	-3,31	-1,75	-1,22
6	3,090	-3,37	-	-1,86	-1,22
5	3,090	-2,68	-	-1,96	-1,22
4	3,090	-2,68	-	-2,02	-1,22
3	3,090	-2,68	-	-2,07	-1,22
2	3,090	-2,68	-	-2,13	-1,22
1	2,013	-1,75	-	-1,42	-0,79

Tab. 13 - Návrhové hodnoty zatížení od podélného větru

Vaznice	ZŠ [m]	Vítr podélný F [kN/m]	Vítr podélný G [kN/m]	Vítr podélný H [kN/m]	Vítr podélný I [kN/m]
14	3,090	-	-4,57	-2,56	-2,19
13	3,090	-	-4,69	-2,56	-2,19
12	3,090	-	-4,75	-2,49	-2,13
11	3,090	-	-4,75	-2,37	-2,00
10	3,090	-	-4,75	-2,24	-1,88
9	3,090	-	-4,80	-2,29	-1,83
8	3,090	-	-4,88	-2,46	-1,83
7	3,090	-	-4,97	-2,63	-1,83
6	3,090	-5,05	-	-2,79	-1,83
5	3,090	-4,02	-	-2,94	-1,83
4	3,090	-4,02	-	-3,02	-1,83
3	3,090	-4,02	-	-3,11	-1,83
2	3,090	-4,02	-	-3,19	-1,83
1	2,013	-2,62	-	-2,13	-1,19

Působení podélného větru na příčné stěny



Obrázek 12 - Schématický obrázek pro výpočet účinků zatížení od podélného větru

$$\gamma_q = 1,5$$

$$w_{eD,k} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10G,14} \cdot z_{\text{š}} = 0,788 \cdot (0,7067) \cdot 2,424 = 1,35 \text{ kN/m}$$

$$w_{eE,k} = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10H,14} \cdot z_{\text{š}} = 0,788 \cdot (-0,3133) \cdot 2,424 = -0,60 \text{ kN/m}$$

$$w_{eD,d} = w_{eD,k} \cdot \gamma_q = 1,35 \cdot 1,5 = 2,03 \text{ kN/m}$$

$$w_{eE,d} = w_{eE,k} \cdot \gamma_q = -0,60 \cdot 1,5 = -0,9 \text{ kN/m}$$

Tab. 14 - Zatížení od podélného větru

-	Hodnota $C_{pe,10}$	$z_{\text{š}}$	zatížení na pažďíky $w_{ed,k}$ [kN/m]	zatížení na pažďíky $w_{ed,d}$ [kN/m]
$C_{pe,10,D}$	0,7067	2,424	1,35	2,03
$C_{pe,10,E}$	-0,3133	2,424	-0,60	-0,90

2.1 STABILITNÍ SÍLY

Stabilitní síly se projevují u horního a dolního pásu. U horní pásu jsou stabilitní síly ve styčnicku s příčným ztužidlem. U dolního pásu se stabilitní síly projevují v místech, kde je podélné ztužidlo. Do výpočtu jsou brány největší normálové síly v uzlech, a tak jsou kombinované výsledky kombinací od zatížení.

Výpočet pro uzel 1:

Největší normálová síla od kombinace v horní páse $\rightarrow N_{ed,1} = 324,64 \text{ kN}$

$$\text{Stabilitní síla} \rightarrow S_{t,1} = \frac{N_{ed,1}}{100} = \frac{324,64}{100} = 3,25 \text{ kN}$$

Tab. 15 - Normálové síly v uzlech

	Horní pás			Dolní pás		
Uzel	KZ5	KZ7	KZ8	KZ3	KZ5	KZ7
1	-324,64	-30,23	0,00	-471,33	-515,46	-656,53
2	-264,16	-29,72	0,00	-469,26	-540,98	-656,07
3	-243,15	-154,65	-151,51	-410,93	-540,51	-504,64
4	-242,32	-153,85	-150,74	-410,08	-539,60	-503,80
5	-269,12	-279,15	-280,74	-296,43	-492,19	-353,03
6	-268,41	-278,45	-280,05	-295,71	-491,43	-352,31
7	-320,03	-372,43	-341,64	-172,70	-404,48	-213,06
8	-319,51	-371,95	-341,18	-171,53	-403,29	-211,89
9	-381,80	-458,36	-394,46	-93,91	-306,85	-83,40
10	-381,43	-457,98	-394,13	-93,56	-306,48	-83,06
11	-433,55	-491,89	-406,99	-87,08	-218,60	-1,70
12	-433,31	-491,63	-406,78	-133,32	-218,36	-40,63
13	-447,77	-446,25	-360,71	-133,26	-173,26	-40,60
14	-447,68	-436,59	-345,05	-180,81	-173,17	-179,30
15	-447,77	-314,78	-217,18	-162,75	-173,34	-162,83
16	-428,42	-162,04	-62,19	-201,84	-217,01	-298,41
17	-428,65	-143,30	-41,02	-191,78	-217,37	-298,78
18	-377,65	-54,20	0,00	-224,51	-302,30	-369,93
19	-378,01	-53,12	0,00	-224,86	-302,67	-370,27
20	-319,53	-20,87	0,00	-255,85	-399,02	-377,59
21	-320,03	-48,70	-12,20	-257,01	-400,22	-378,75
22	-268,10	-34,23	-0,64	-288,29	-488,16	-379,15
23	-269,17	-139,94	-119,90	-289,00	-488,91	-320,80
24	-240,24	-153,10	-132,97	-289,48	-538,15	-321,29
25	-241,08	-305,04	-292,77	-282,55	-539,06	-190,51
26	-261,61	-305,51	-293,26	-283,06	-539,56	-190,96
27	-320,49	-447,01	-430,53	-201,63	-515,85	0,00

Tab. 16 - Stabilitní síly

-	Horní pás			Dolní pás		
Uzel	KZ5	KZ7	KZ8	KZ3	KZ5	KZ7
1	-3,25	-0,30	0,00	-4,71	-5,15	-6,57
2	-2,64	-0,30	0,00	-4,69	-5,41	-6,56
3	-2,43	-1,55	-1,52	-4,11	-5,41	-5,05
4	-2,42	-1,54	-1,51	-4,10	-5,40	-5,04
5	-2,69	-2,79	-2,81	-2,96	-4,92	-3,53
6	-2,68	-2,78	-2,80	-2,96	-4,91	-3,52
7	-3,20	-3,72	-3,42	-1,73	-4,04	-2,13
8	-3,20	-3,72	-3,41	-1,72	-4,03	-2,12
9	-3,82	-4,58	-3,94	-0,94	-3,07	-0,83
10	-3,81	-4,58	-3,94	-0,94	-3,06	-0,83
11	-4,34	-4,92	-4,07	-0,87	-2,19	-0,02
12	-4,33	-4,92	-4,07	-1,33	-2,18	-0,41
13	-4,48	-4,46	-3,61	-1,33	-1,73	-0,41
14	-4,48	-4,37	-3,45	-1,81	-1,73	-1,79
15	-4,48	-3,15	-2,17	-1,63	-1,73	-1,63
16	-4,28	-1,62	-0,62	-2,02	-2,17	-2,98
17	-4,29	-1,43	-0,41	-1,92	-2,17	-2,99
18	-3,78	-0,54	0,00	-2,25	-3,02	-3,70
19	-3,78	-0,53	0,00	-2,25	-3,03	-3,70
20	-3,20	-0,21	0,00	-2,56	-3,99	-3,78
21	-3,20	-0,49	-0,12	-2,57	-4,00	-3,79
22	-2,68	-0,34	-0,01	-2,88	-4,88	-3,79
23	-2,69	-1,40	-1,20	-2,89	-4,89	-3,21
24	-2,40	-1,53	-1,33	-2,89	-5,38	-3,21
25	-2,41	-3,05	-2,93	-2,83	-5,39	-1,91
26	-2,62	-3,06	-2,93	-2,83	-5,40	-1,91
27	-3,20	-4,47	-4,31	-2,02	-5,16	0,00

2.2 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Seznam všech zatěžovacích stavů použitých pro kombinace.

Tab. 17 - Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy	Popis zatěžovacího stavu
ZS1	Stálé + Ostatní stálé
ZS2	Sníh navátý 1
ZS3	Sníh navátý 2
ZS4	Sníh nenavátý
ZS5	Vítr příčný
ZS6	Vítr podélný
ZS7	Užitné
ZS8	Sníh poloviční
ZS9	Stabilitní síly

2.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombinace zatěžovacích stavů jsou prováděny podle rovnice 6.10. Kombinace jsou zadávány ručně do programu Dlubal RFEM.

Kombinační rovnice 6.10:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kombinační součinitelé:

Tab. 18 - Kombinační součinitelé

Zatížení	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sníh $h \leq 1000$ m.n.m.	0,5	0,2	0
Vítr	0,6	0,2	0
Užitné	0	0	0

Kombinace:

- $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS2 + 0,00 \cdot ZS7$
- $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7$
- $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS3 + 0,00 \cdot ZS7$
- $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS3 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7$

5. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS4 + 0,00 \cdot ZS7$
6. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS4 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7$
7. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS8 + 0,00 \cdot ZS7$
8. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS8 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7$
9. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS5 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot ZS8 + 0,00 \cdot ZS7$
10. $1,00 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7$
11. $1,00 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS6 + 0,00 \cdot ZS7$
12. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7$

Kombinace se stabilitními silami:

13. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS2 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
14. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
15. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS3 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
16. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS3 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
17. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS4 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
18. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS4 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
19. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS8 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
20. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS8 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
21. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS5 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot ZS8 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
22. $1,00 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
23. $1,00 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS6 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$
24. $1,35 \cdot ZS1 + 1,50 \cdot ZS5 + 0,00 \cdot ZS7 + 1,00 \cdot ZS9$

3 POUŠOUZENÍ PRŮŘEZŮ

3.1 VAZNICE

Průřezové charakteristiky profil HEA 160

$$h = 152 \text{ mm}$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$A = 3877 \text{ mm}^2$$

Osa y

$$I_y = 1,67 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 2,45 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 65,70 \text{ mm}$$

Kroucení a klopení

$$I_w = 3,14 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$$

Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GP}$$

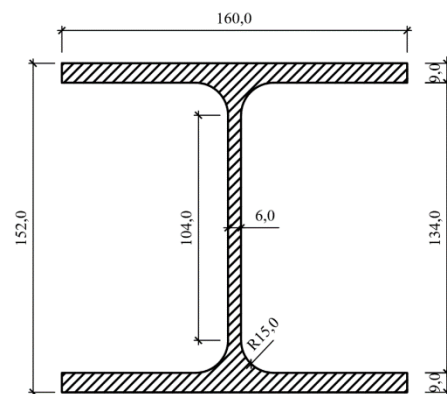
Třída průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{104}{6} = 17,33 \quad \frac{c_f}{t_f} = \frac{65}{9} = 7,22$$

$$17,33 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

$$7,22 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$



Osa z

$$I_z = 6,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,pl} = 1,18 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 39,80 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,22 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 56,22 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3877 \cdot 355}{1} = 1376,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{56,22}{1376,34} = 0,04 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 22,44 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 3877 - 2 \cdot 160 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 15) \cdot 9$$

$$A_v = 1321 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{1321 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 270,75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{22,44}{270,75} = 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 22,44 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 270,75 = 135,38 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 11,38 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,18 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 41,89 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{11,38}{41,89} = 0,27 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 26,05 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2,45 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 86,98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} = \frac{26,05}{86,98} = 0,30 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na klopení:

$$M_{y,ed} = 26,05 \text{ kNm}$$

$$K_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}} = 0,51$$

$z_j = 0 \rightarrow$ průřez je symetrický k ose y

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{152}{2} = 76 \text{ mm}$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 76}{1,0 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 6,16 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}} = 0,55$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot K_{\omega t} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,51 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right] =$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,51^2 + (0,46 \cdot 0,55 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,55 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,01$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,01 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 6,16 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}}{5000}$$

$$M_{cr} = 71,75 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,45 \cdot 10^5 \cdot 355}{71,75 \cdot 10^6}} = 1,10 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2}]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,10 - 0,2) + 1,10^2] = 1,20$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{1,20 + \sqrt{1,20^2 - 1,10^2}} = 0,6$$

$$M_{b,rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,6 \cdot 2,45 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 52,19 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{b,rd}} = \frac{26,05}{52,19} = 0,5 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na kombinaci osových síly, ohybu a kroucení

$$M_{ed} = 27,02 \text{ kNm}$$

$$N_{ed} = 25,00 \text{ kN}$$

$$\alpha = 20,46^\circ$$

$$e = 27 \text{ mm}$$

$$M_{y,ed} = M_{ed} \cdot \sin(\alpha) = 27,02 \cdot \sin(20,46) = 9,44 \text{ kNm}$$

$$M_{z,ed} = M_{ed} \cdot \cos(\alpha) = 27,02 \cdot \cos(20,46) = 25,32 \text{ kNm}$$

$$K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega}} = 5000 \cdot \sqrt{\frac{81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}{210 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 10^{10}}} = 6,12$$

$$K = \frac{1}{\left[\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t} \right)^2 \right]} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{3,1}{6,12} \right)^2 \right]} = 0,80$$

$$B_{ed} = M_{ed} \cdot e \cdot (1 - K) = 27,02 \cdot 0,027 \cdot (1 - 0,80) = 0,15 \text{ kNm}^2$$

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 3877 \cdot 355 = 1376,34 \text{ kN}$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,45 \cdot 10^5 \cdot 355 = 86,98 \text{ kNm}$$

$$M_{z,rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,18 \cdot 10^5 \cdot 355 = 41,89 \text{ kNm}$$

$$W_{f,pl,z} = \frac{1}{4} \cdot t_f \cdot b_f^2 = \frac{1}{4} \cdot 9 \cdot 160^2 = 57600 \text{ mm}^3$$

$$h_f = h - t_f = 152 - 9 = 143 \text{ mm}$$

$$B_{rk} = W_{f,z} \cdot f_y \cdot h_f = 57600 \cdot 355 \cdot 143 = 2,92 \text{ kNm}^2$$

Vzpěru v rovině kolmé na osu y:

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5000 = 5000 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,67 \cdot 10^7}{5000^2} = 1384,51 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3877 \cdot 355}{1384,51}} = 1,00 \rightarrow \text{Křivka } b \rightarrow \chi_y = 0,597$$

Vzpěr v rovině kolmé na osu z:

$$L_{cr,z} = 5000 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6,16 \cdot 10^6}{5000^2} = 510,69 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3877 \cdot 355}{510,69}} = 1,64 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_z = 0,273$$

Klopení:

$$K_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}} = 0,51$$

$z_j = 0 \rightarrow$ průřez je symetrický k ose y

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{152}{2} = 76 \text{ mm}$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 76}{1,0 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 6,16 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}} = 0,55$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot K_{\omega t} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,51 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right] =$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,51^2 + (0,46 \cdot 0,55 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,55 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,01$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,01 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 6,16 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1,22 \cdot 10^5}}{5000}$$

$$M_{cr} = 71,75 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,45 \cdot 10^5 \cdot 355}{71,75 \cdot 10^6}} = 1,10 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT}^- - 0,2) + \lambda_{LT}^{-2}] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,10 - 0,2) + 1,10^2] = 1,20 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{1,20 + \sqrt{1,20^2 - 1,10^2}} = 0,60$$

Výpočet součinitelů interakce:

$$\alpha_h = \frac{M_s}{M_h} = 0$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$\eta_y = \frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{\frac{25}{0,597 \cdot 1376,34}}{1} = 0,03$$

$$\lambda_y = 1,0 \rightarrow k_{yy} = C_{my}(1 + 1,6 \cdot \eta_y) = 0,95(1 + 1,6 \cdot 0,03) = 0,996$$

$$\eta_z = \frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{\frac{25}{0,273 \cdot 1376,34}}{1} = 0,07$$

$$\lambda_z = 1,64 \rightarrow k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,4 \cdot \eta_z) = 0,95(1 + 1,4 \cdot 0,07) = 1,043$$

$$\lambda_z = 1,64 \rightarrow k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \eta_z}{C_{mLT} - 0,25} = 1 - \frac{0,1 \cdot 1,043}{0,95 - 0,25} = 0,851$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,043 = 0,626$$

$$k_w = 0,7 - \frac{\frac{0,2 \cdot B_{ed}}{B_{rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,7 - \frac{\frac{0,2 \cdot 0,15}{2,92}}{1,0} = 0,69$$

$$k_{zw} = 1,0 - \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = 1,0 - \frac{25,32}{\frac{41,89}{1,0}} = 0,40$$

$$k_a = \frac{1}{1 - \frac{M_{y,ed}}{M_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{9,44}{71,75}} = 1,15 \leq 2,0$$

$$k_a \cdot \frac{B_{ed}}{\frac{B_{rk}}{1,0}} = 1,15 \cdot \frac{0,15}{\frac{2,92}{1,0}} = 0,06 \leq 0,07 \rightarrow \text{Vliv bimomentu lze zanedbat}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{25}{\frac{0,597 \cdot 1376,34}{1,0}} + 0,996 \cdot \frac{9,44}{\frac{0,60 \cdot 86,98}{1,0}} + 0,626 \cdot \frac{25,32}{\frac{41,89}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,59 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{25}{\frac{0,273 \cdot 1376,34}{1,0}} + 0,851 \cdot \frac{9,44}{\frac{0,60 \cdot 86,98}{1,0}} + 1,043 \cdot \frac{25,32}{\frac{41,89}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,85 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

3.2 HORNÍ PÁS – KRAJE

Průřezové charakteristiky profil TR KR 177,8x8 mm (za tepla válcované)

$$d = 177,8 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

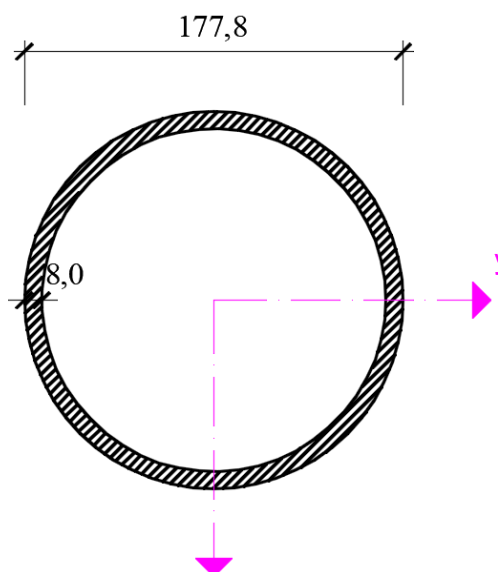
$$A = 4270 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 1,54 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 2,31 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 60,10 \text{ mm}$$

$$I_t = 3,08 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{355} = 0,66$$

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{8} = 22,23$$

$$22,23 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,66 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 634,99 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{4270 \cdot 355}{1} = 1515,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{634,99}{1515,85} = 0,42 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 915,73 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{4270 \cdot 355}{1} = 1515,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{915,73}{1515,85} = 0,60 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 99,57 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 4270}{\pi} = 2718 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{2718 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 557,15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{99,57}{557,15} = 0,18 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 99,57 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 557,15 = 278,58 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 1,51 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2,31 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 82,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{1,51}{82,01} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 6,18 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2,31 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 82,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} = \frac{6,18}{82,01} = 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{ed} = 616,09 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3090 \text{ mm} = L_{cr}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,54 \cdot 10^7}{3090^2} = 3342,90 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4270 \cdot 355}{3342900}} = 0,67 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi = 0,861$$

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,861 \cdot 4270 \cdot 355}{1,0} = 1305,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{616,09}{1305,15} = 0,47 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$N_{ed} = 616,09 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3090 \text{ mm} = L_{cr}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,54 \cdot 10^7}{3090^2} = 3342,90 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4270 \cdot 355}{3342900}} = 0,67 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi = 0,861$$

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 4270 \cdot 355 = 1515,85 \text{ kN}$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,31 \cdot 10^5 \cdot 355 = 82,01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 2,31 \cdot 10^5 \cdot 355 = 82,01 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \rightarrow \text{průřez není náchylný na kroucení}$$

$$\Psi = \frac{\Psi M}{M_h} = \frac{1,86}{20,72} = 0,09$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = -\frac{4,14}{20,72} = -0,2$$

$$C_{my} = -0,8 \cdot \alpha_s = -0,8 \cdot (-0,2) = 0,16 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left(1 + (0,67 - 0,2) \cdot \frac{616,09}{\frac{0,861 \cdot 1515,85}{1,0}} \right) \\ \leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{616,09}{\frac{0,861 \cdot 1515,85}{1,0}} \right) = 0,49 \leq 0,55$$

$$k_{yy} = 0,49$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,49 = 0,29$$

$$\Psi = \frac{\Psi_M}{M_h} = -\frac{1,53}{7,50} = -0,2$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,2) = 0,52 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,52$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,52 \cdot \left(1 + (0,67 - 0,2) \cdot \frac{616,09}{\frac{0,861 \cdot 1515,85}{1,0}} \right) \\ \leq 0,52 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{616,09}{\frac{0,861 \cdot 1515,85}{1,0}} \right) = 0,64 \leq 0,72$$

$$k_{zz} = 0,64$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,64 = 0,38$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{616,09}{0,861 \cdot 1515,85}}{1,0} + 0,49 \cdot \frac{\frac{20,72}{1,0 \cdot 82,01}}{1,0} + 0,38 \cdot \frac{\frac{7,5}{82,01}}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,63 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{616,09}{0,861 \cdot 1515,85}}{1,0} + 0,29 \cdot \frac{\frac{20,72}{1,0 \cdot 82,01}}{1,0} + 0,64 \cdot \frac{\frac{7,5}{82,01}}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,60 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

3.3 HORNÍ PÁS – STŘEDNÍ ČÁST

Průřezové charakteristiky profilu TR KR 177,8x6,3 mm (za tepla válcované)

$$d = 177,8 \text{ mm}$$

$$t = 6,3 \text{ mm}$$

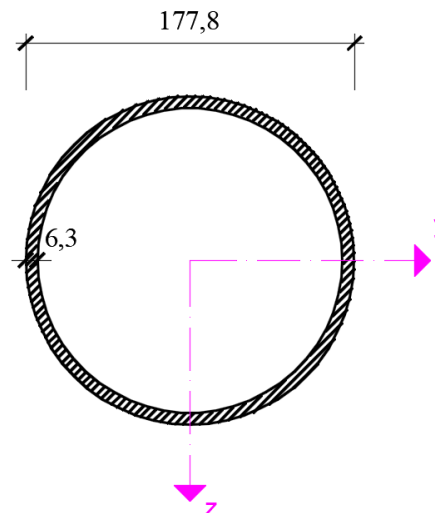
$$A = 3390 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 1,25 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1,85 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 60,7 \text{ mm}$$

$$I_t = 2,50 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{355} = 0,66$$

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{6,3} = 28,22$$

$$28,22 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,66 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 317,24 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3390 \cdot 355}{1} = 1203,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{317,24}{1203,45} = 0,26 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 700,26 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3390 \cdot 355}{1} = 1203,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{700,26}{1203,45} = 0,58 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 10,88 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 3390}{\pi} = 2540 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{2540 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 520,62 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{10,88}{520,62} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 10,87 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 520,62 = 260,31 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 0,92 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 65,68 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{0,92}{65,68} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 1,19 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 65,68 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{1,19}{65,68} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{ed} = 700,26 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3090 \text{ mm} = L_{cr}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,25 \cdot 10^7}{3090^2} = 2713,39 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3990 \cdot 355}{2713390}} = 0,72 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi = 0,838$$

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,838 \cdot 3990 \cdot 355}{1,0} = 1186,99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{700,26}{1186,99} = 0,59 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$N_{ed} = 700,26 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3090 \text{ mm} = L_{cr}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,25 \cdot 10^7}{3090^2} = 2713,39 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3990 \cdot 355}{2713390}} = 0,72 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi = 0,838$$

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 3990 \cdot 355 = 1416,45 \text{ kN}$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,85 \cdot 10^5 \cdot 355 = 65,68 \text{ kNm}$$

$$M_{z,rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,85 \cdot 10^5 \cdot 355 = 65,68 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \rightarrow \text{průřez není náchylný na kroucení}$$

$$\Psi = \frac{\Psi M}{M_h} = \frac{7,87}{15,75} = 0,50$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = -\frac{5,54}{15,75} = -0,35$$

$$C_{my} = -0,8 \cdot \alpha_s = -0,8 \cdot (-0,35) = 0,28 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left(1 + (0,72 - 0,2) \cdot \frac{700,26}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} \right) \\ \leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{700,26}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} \right) = 0,52 \leq 0,59$$

$$k_{yy} = 0,52$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,52 = 0,31$$

$$\Psi = \frac{\Psi_M}{M_h} = -\frac{3,2}{10,16} = -0,31$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,31) = 0,48 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,48$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,48 \cdot \left(1 + (0,72 - 0,2) \cdot \frac{700,26}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} \right) \\ \leq 0,48 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{700,26}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} \right) = 0,63 \leq 0,71$$

$$k_{zz} = 0,63$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,63 = 0,38$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{700,26}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} + 0,52 \cdot \frac{15,75}{\frac{1,0 \cdot 65,68}{1,0}} + 0,38 \cdot \frac{3,2}{\frac{65,68}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,73 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{700,26}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} + 0,31 \cdot \frac{15,75}{\frac{1,0 \cdot 65,68}{1,0}} + 0,63 \cdot \frac{3,2}{\frac{65,68}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,69 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

3.4 DOLNÍ PÁS – KRAJE

Průřezové charakteristiky profilu TR KR 244,5x10 mm (za tepla válcované)

$$d = 244,5 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

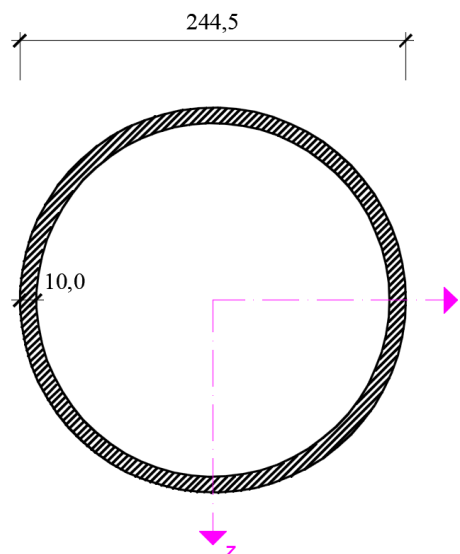
$$A = 7370 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 5,07 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 5,50 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 83 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,02 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_u = 520 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{420} = 0,56$$

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{10} = 24,45$$

$$24,45 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,56 = 28 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 340,17 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{7370 \cdot 420}{1} = 3095,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{340,17}{3094,40} = 0,11 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 946,71 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{7370 \cdot 420}{1} = 3095,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{946,71}{3095,40} = 0,31 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 122,98 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 7370}{\pi} = 4692 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{4692 \cdot 420}{\sqrt{3} \cdot 1} = 1137,72 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{122,98}{1137,72} = 0,11 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 122,98 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 1137,72 = 568,86 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 6,45 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{5,50 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \cdot 10^3}{1} = 231,00 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{6,45}{231,00} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 33,06 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{5,50 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \cdot 10^3}{1} = 231,00 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} = \frac{33,06}{231,00} = 0,14 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy y

$$N_{ed} = 946,71 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 8733 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 5,07 \cdot 10^7}{8733^2} = 1377,84 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7370 \cdot 420}{1377,84}} = 1,50 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_y = 0,372$$

$$N_{b,rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,372 \cdot 7370 \cdot 420}{1,0} = 1151,49 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,y}} = \frac{946,71}{1151,49} = 0,82 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy z

$$N_{ed} = 946,71 \text{ kN}$$

$$L_{cr,z} = 2911 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 5,07 \cdot 10^7}{2911^2} = 12400,60 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7370 \cdot 420}{12400,60}} = 0,50 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_z = 0,924$$

$$N_{b,rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,924 \cdot 7370 \cdot 420}{1,0} = 2860,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,z}} = \frac{946,71}{2860,15} = 0,33 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$N_{ed} = 946,71 \text{ kN}$$

$$M_{ed,y} = 27,32 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,z} = 1,86 \text{ kNm}$$

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 7370 \cdot 420 = 3095,40 \text{ kN}$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 5,50 \cdot 10^5 \cdot 420 = 231,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 5,50 \cdot 10^5 \cdot 355 = 231,00 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \rightarrow \text{průřez není náchylný na kroucení}$$

$$\Psi = \frac{\Psi M}{M_h} = \frac{15,11}{27,32} = 0,55$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = -\frac{2,93}{27,32} = -0,11$$

$$C_{my} = -0,8 \cdot \alpha_s = -0,8 \cdot (-0,11) = 0,088 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left(1 + (1,50 - 0,2) \cdot \frac{946,71}{\frac{0,372 \cdot 3095,40}{1,0}} \right) \\ \leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{946,71}{\frac{0,372 \cdot 3095,40}{1,0}} \right) = 0,83 \leq 0,66$$

$$k_{yy} = 0,66$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,66 = 0,40$$

$$\Psi = \frac{\Psi M}{M_h} = \frac{1,86}{4,34} = 0,43$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,43 = 0,77 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,77$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,77 \cdot \left(1 + (0,50 - 0,2) \cdot \frac{946,71}{\frac{0,924 \cdot 3095,40}{1,0}} \right)$$

$$\leq 0,77 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{946,71}{\frac{0,924 \cdot 3095,40}{1,0}} \right) = 0,85 \leq 0,97$$

$$k_{zz} = 0,85$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,85 = 0,51$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{946,71}{\frac{0,372 \cdot 3095,40}{1,0}} + 0,66 \cdot \frac{27,32}{\frac{1,0 \cdot 231,00}{1,0}} + 0,51 \cdot \frac{1,86}{\frac{231,00}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,90 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{946,71}{\frac{0,924 \cdot 3095,40}{1,0}} + 0,40 \cdot \frac{27,32}{\frac{1,0 \cdot 231,00}{1,0}} + 0,85 \cdot \frac{1,86}{\frac{231,00}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,39 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

3.5 DOLNÍ PÁS – STŘEDNÍ ČÁST

Průřezové charakteristiky profilu TR KR 244,5x12,5 mm (za tepla válcované)

$$d = 244,5 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

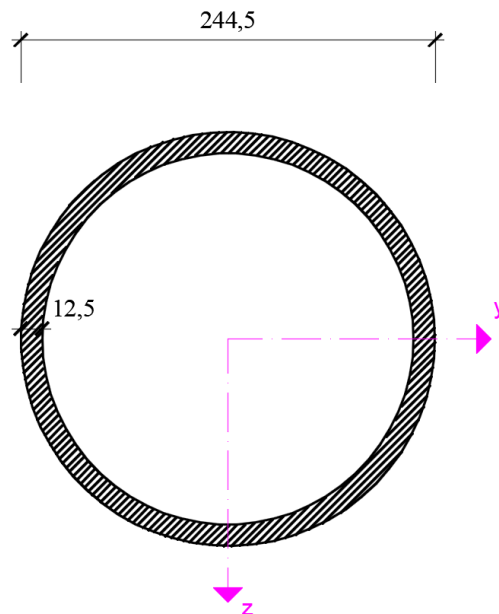
$$A = 9110 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 6,15 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 6,73 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 82,1 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,23 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

Ocel S355: $f_y = 420 \text{ MPa}$

$$f_u = 520 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{420} = 0,56$$

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{12,5} = 17,22$$

$$19,56 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,56 = 28 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 325,83 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{9110 \cdot 420}{1} = 3826,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{323,83}{3826,20} = 0,09 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 612,03 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{9110 \cdot 420}{1} = 3826,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{612,03}{3826,20} = 0,16 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 25,06 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 9110}{\pi} = 5799 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{5799 \cdot 420}{\sqrt{3} \cdot 1} = 1406,33 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{25,06}{1585,40} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 25,06 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 1585,40 = 792,70 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 0,92 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{6,73 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \cdot 10^3}{1} = 282,66 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{0,92}{282,66} = 0,00 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 7,55 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{6,73 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \cdot 10^3}{1} = 282,66 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} = \frac{7,55}{282,66} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy y

$$N_{ed} = 612,03 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 11644 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6,15 \cdot 10^7}{11644^2} = 940,13 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9110 \cdot 420}{940,13}} = 2,02 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_y = 0,219$$

$$N_{b,rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,219 \cdot 9110 \cdot 420}{1,0} = 837,94 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,y}} = \frac{612,03}{837,94} = 0,73 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy z

$$N_{ed} = 612,03 \text{ kN}$$

$$L_{cr,z} = 2911 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6,15 \cdot 10^7}{2911^2} = 15042,14 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{9110 \cdot 420}{15042,14}} = 0,50 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_z = 0,924$$

$$N_{b,rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,924 \cdot 9110 \cdot 420}{1,0} = 3535,41 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,z}} = \frac{612,03}{3535,41} = 0,17 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 9110 \cdot 420 = 3826,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 7,54 \cdot 10^5 \cdot 420 = 316,68 \text{ kNm}$$

$$M_{z,rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 7,54 \cdot 10^5 \cdot 420 = 316,68 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \rightarrow \text{průřez není náchylný na kroucení}$$

$$\Psi = \frac{\Psi M}{M_h} = -\frac{2,98}{15,10} = -0,20$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0}{15,10} = 0$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0 = 0,2 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 0,4 \cdot \left(1 + (2,02 - 0,2) \cdot \frac{612,03}{\frac{0,219 \cdot 3826,20}{1,0}} \right) \\ &\leq 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{612,03}{\frac{0,219 \cdot 3826,20}{1,0}} \right) = 0,93 \leq 0,63 \end{aligned}$$

$$k_{yy} = 0,63$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,49 = 0,38$$

$$\Psi = \frac{\Psi M}{M_h} = -\frac{0,83}{0,96} = 0,86$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,86 = 0,94 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,94$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\lambda_z - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$\begin{aligned} k_{zz} &= 0,94 \cdot \left(1 + (0,5 - 0,2) \cdot \frac{612,03}{\frac{0,924 \cdot 3826,20}{1,0}} \right) \\ &\leq 0,94 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{612,03}{\frac{0,924 \cdot 3826,20}{1,0}} \right) = 0,99 \leq 1,07 \end{aligned}$$

$$k_{zz} = 0,99$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,99 = 0,59$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{612,03}{0,219 \cdot 3826,20}}{1,0} + 0,63 \cdot \frac{\frac{15,10}{1,0 \cdot 316,68}}{1,0} + 0,59 \cdot \frac{\frac{0}{316,68}}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,76 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{612,03}{0,924 \cdot 3826,20}}{1,0} + 0,38 \cdot \frac{\frac{15,10}{1,0 \cdot 316,68}}{1,0} + 0,99 \cdot \frac{\frac{0}{316,68}}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,19 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

3.6 DIAGONÁLY A SVISLICE

Průřezové charakteristiky profilu TR KR 114,3X6,3 mm (za tepla válcované)

$$d = 114,3 \text{ mm}$$

$$t = 6,3 \text{ mm}$$

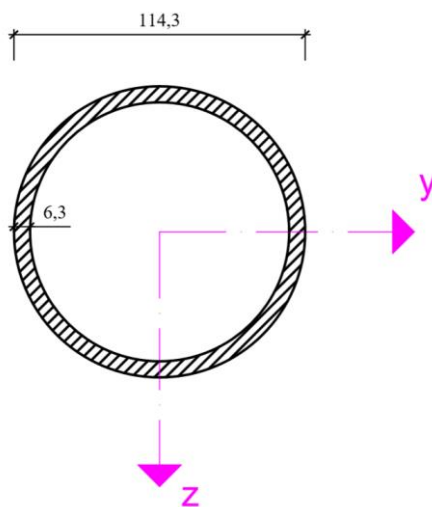
$$A = 2140 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 3,13 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 7,36 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 38,2 \text{ mm}$$

$$I_t = 6,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{355} = 0,66$$

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{6,3} = 18,14$$

$$18,14 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,66 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 273,96 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2140 \cdot 355}{1} = 759,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{273,96}{759,70} = 0,36 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 242,91 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2140 \cdot 355}{1} = 759,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{242,91}{759,70} = 0,32 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 0,57 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 2140}{\pi} = 1362 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{1362 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 279,23 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{0,57}{279,23} = 0,00 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 0,57 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 279,23 = 139,62 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 0,912 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 65,68 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{0,912}{65,68} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 2,07 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 65,68 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{2,07}{65,68} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{ed} = 242,91 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 4242 \text{ mm} = L_{cr}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,13 \cdot 10^6}{4242^2} = 360,51 \text{ kN}$$

$$\lambda^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2140 \cdot 355}{360510}} = 1,45 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi = 0,394$$

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,394 \cdot 2140 \cdot 355}{1,0} = 299,32 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{242,91}{299,32} = 0,81 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

3.7 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO

Průřezové charakteristiky profilu TR KR 139,7x8 mm (za tepla válcované)

$$d = 139,7 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

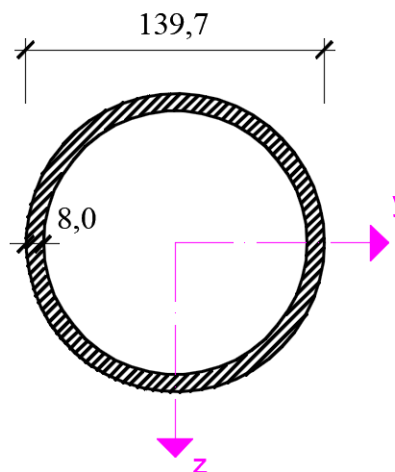
$$A = 3310 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 7,20 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1,39 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 46,6 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,44 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{355} = 0,66$$

$$\frac{d}{t} = \frac{139,7}{8} = 17,46$$

$$17,46 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,66 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 238,32 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3310 \cdot 355}{1} = 1175,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{238,32}{1175,05} = 0,20 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 247,11 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3310 \cdot 355}{1} = 1175,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{247,11}{1175,05} = 0,21 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 2,94 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 3310}{\pi} = 2107 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{2107 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 431,89 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{2,94}{431,89} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 2,94 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 431,89 = 215,95 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na vzpěr okolo osy y

$$N_{ed} = 247,11 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 5878 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 7,20 \cdot 10^6}{5878^2} = 431,91 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3310 \cdot 355}{431,91}} = 1,65 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_y = 0,316$$

$$N_{b,rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,316 \cdot 3310 \cdot 355}{1,0} = 371,32 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,y}} = \frac{247,11}{371,32} = 0,67 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy z

$$N_{ed} = 247,11 \text{ kN}$$

$$L_{cr,z} = 5878 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 7,20 \cdot 10^6}{5878^2} = 431,91 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3310 \cdot 355}{431,91}} = 1,65 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_z = 0,316$$

$$N_{b,rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,316 \cdot 3310 \cdot 355}{1,0} = 371,32 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,z}} = \frac{247,11}{371,32} = 0,67 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

3.8 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO

Průřezové charakteristiky profilu TR KR 101,6x6,3 mm (za tepla válcované)

$$d = 101,6 \text{ mm}$$

$$t = 6,3 \text{ mm}$$

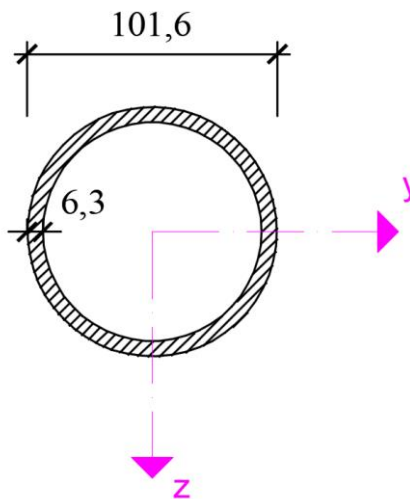
$$A = 1890 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 2,15 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 5,73 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = 33,8 \text{ mm}$$

$$I_t = 4,30 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Třída průřezu

$$\varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = \frac{235}{355} = 0,66$$

$$\frac{d}{t} = \frac{101,6}{6,3} = 16,13$$

$$16,13 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,66 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení na tah

$$N_{t,ed} = 112,11 \text{ kN}$$

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1890 \cdot 355}{1} = 670,95 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} = \frac{112,11}{670,95} = 0,17 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 78,06 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1980 \cdot 355}{1} = 670,95 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{78,06}{670,95} = 0,12 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy y

$$N_{ed} = 78,06 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 5831 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,15 \cdot 10^6}{5831^2} = 131,06 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1980 \cdot 355}{131,06}} = 2,26 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_y = 0,178$$

$$N_{b,rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,178 \cdot 1980 \cdot 355}{1,0} = 119,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,y}} = \frac{78,06}{119,43} = 0,65 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy z

$$N_{ed} = 78,06 \text{ kN}$$

$$L_{cr,z} = 5831 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,15 \cdot 10^6}{5831^2} = 131,06 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3990 \cdot 355}{131,06}} = 2,26 \rightarrow \text{Křivka } a \rightarrow \chi_z = 0,178$$

$$N_{b,rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,178 \cdot 1980 \cdot 355}{1,0} = 119,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,z}} = \frac{78,06}{119,43} = 0,65 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

3.9 PAŽDÍKY

Průřezové charakteristiky profilu UPE 180

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$t_f = 10,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm}$$

$$A = 2510 \text{ mm}^2$$

Osa y

$$I_y = 1,35 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 1,75 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 73,40 \text{ mm}$$

Kroucení a klopení

$$I_w = 6,81 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

Osa z

$$I_z = 1,44 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,pl} = 5,23 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 23,9 \text{ mm}$$

$$I_t = 6,99 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

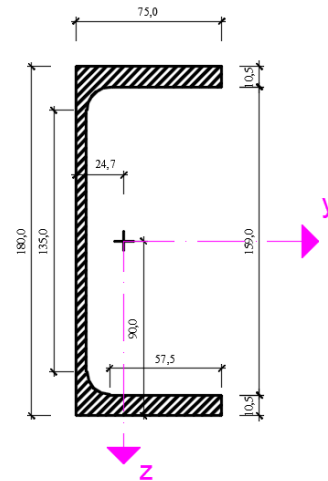
Třída průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{135}{5,5} = 24,55 \quad \frac{c_f}{t_f} = \frac{57,5}{10,5} = 5,48$$

$$24,55 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

$$5,48 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$



Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 1,10 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{5,23 \cdot 10^4 \cdot 355}{1} = 18,57 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{1,10}{18,57} = 0,06 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 11,39 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,75 \cdot 10^5 \cdot 355}{1} = 62,13 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} = \frac{11,39}{62,13} = 0,18 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na šikmý ohyb

$$M_{ed,z} = 1,10 \text{ kNm}; M_{ed,y} = 11,39 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{5,23 \cdot 10^4 \cdot 355}{1} = 18,57 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,75 \cdot 10^5 \cdot 355}{1} = 62,13 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} + \frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{11,39}{62,13} + \frac{1,10}{18,57} = 0,24 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na klopení

$$M_{y,ed} = 12,89 \text{ kNm}$$

$$K_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5903} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,81 \cdot 10^9}{81000 \cdot 6,99 \cdot 10^4}} = 0,27$$

$$z_j = 0 \rightarrow \text{průřez je symetrický k ose y}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 90}{1,0 \cdot 5903} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,44 \cdot 10^6}{81000 \cdot 6,99 \cdot 10^4}} = 0,35$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot K_{\omega t} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,31 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right] =$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,27^2 + (0,46 \cdot 0,35 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,35 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,00$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,00 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 1,44 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 6,99 \cdot 10^4}}{5903}$$

$$M_{cr} = 22,02 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^5 \cdot 355}{22,02 \cdot 10^6}} = 1,68$$

$$\text{Křivka klopení } d \rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,68 - 0,2) + 1,68^2] = 2,47$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{2,47 + \sqrt{2,47^2 - 1,68^2}} = 0,23$$

$$M_{b,rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,23 \cdot 1,75 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 14,29 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{b,rd}} = \frac{12,89}{14,29} = 0,90 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

3.10 SLOUPY

Průřezové charakteristiky profilu HEA 180

$$h = 171 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$A = 4525 \text{ mm}^2$$

Osa y

$$I_y = 2,51 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 3,25 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 74,50 \text{ mm}$$

Kroucení a klopení

$$I_w = 6,02 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$$

Materiálové charakteristiky

$$\text{Ocel S355: } f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

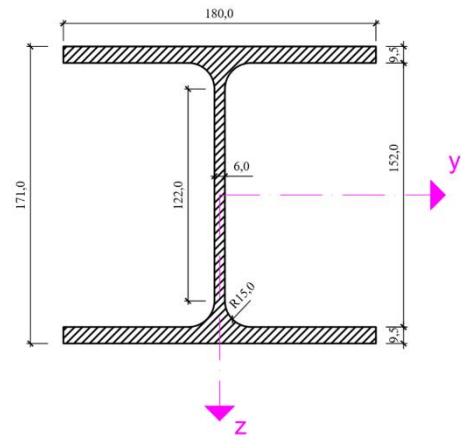
Třída průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{122}{6} = 20,33 \quad \frac{c_f}{t_f} = \frac{74}{9,5} = 7,79$$

$$20,33 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

$$7,79 \leq 9 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1 \rightarrow \text{třída průřezu 2}$$



Osa z

$$I_z = 9,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,pl} = 1,56 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 45,20 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,48 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

Posouzení na tlak

$$N_{c,ed} = 14,51 \text{ kN}$$

$$N_{c,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{4525 \cdot 355}{1} = 1606,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} = \frac{14,51}{1606,38} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 25,06 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 4525 - 2 \cdot 180 \cdot 9,5 + (6 + 2 \cdot 15) \cdot 9,5 = 1447 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{1447 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 296,58 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,rd}} = \frac{25,06}{296,58} = 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,rd} \rightarrow 25,06 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 296,58 = 148,29 \text{ kN}$$

→ účinek smykové síly na únosnost v ohybu lze zanedbat

Posouzení na ohyb směr z

$$M_{ed,z} = 7,11 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,56 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 55,38 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{7,11}{55,38} = 0,13 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb směr y

$$M_{ed,y} = 80,97 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3,25 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 115,38 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} = \frac{80,97}{115,38} = 0,70 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na šikmý ohyb

$$M_{ed,z} = 7,11 \text{ kNm} ; M_{ed,y} = 80,97 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1,56 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 55,38 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3,25 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1} = 115,38 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed,y}}{M_{pl,rd,y}} + \frac{M_{ed,z}}{M_{pl,rd,z}} = \frac{80,97}{115,38} + \frac{7,11}{55,38} = 0,83 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy y

$$N_{ed} = 14,51 \text{ kN} ; L_{cr,y} = 16969 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,51 \cdot 10^7}{16969^2} = 180,67 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4525 \cdot 355}{180,67}} = 2,98 \rightarrow \text{Křivka } b \rightarrow \chi_y = 0,101$$

$$N_{b,rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,101 \cdot 4525 \cdot 355}{1,0} = 162,24 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,y}} = \frac{14,51}{162,24} = 0,09 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr okolo osy z

$$N_{ed} = 14,51 \text{ kN} ; L_{cr,z} = 2424 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 9,25 \cdot 10^6}{2424^2} = 3262,84 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4525 \cdot 355}{3262,84}} = 0,7 \rightarrow \text{Křivka } c \rightarrow \chi_z = 0,725$$

$$N_{b,rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,725 \cdot 4525 \cdot 355}{1,0} = 1164,62 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd,z}} = \frac{14,51}{1164,62} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na klopení

$$M_{y,ed} = 99,18 \text{ kNm}$$

$$K_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2424} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,02 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 1,48 \cdot 10^5}} = 1,33$$

$z_j = 0 \rightarrow$ průřez je symetrický k ose y

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{171}{2} = 85,5 \text{ mm}$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 85,5}{1,0 \cdot 2424} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 9,25 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,48 \cdot 10^5}} = 1,41$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot K_{\omega t} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 1,33 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + K_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right] =$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 1,33^2 + (0,46 \cdot 1,41 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 1,41 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,29$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,29 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 9,25 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1,48 \cdot 10^5}}{2424}$$

$$M_{cr} = 255,13 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,25 \cdot 10^5 \cdot 355}{255,13 \cdot 10^6}} = 0,67$$

Křivka klopení $b \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT}^- - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^{-2}]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,67 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,67^2] = 0,71$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,75 \cdot 0,67^2}} = 0,89$$

$$M_{b,rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,89 \cdot 3,25 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 102,68 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{b,rd}} = \frac{99,18}{102,68} = 0,96 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$N_{ed} = 0,97 \text{ kNm}$$

$$M_{y,ed} = 73,21 \text{ kNm}$$

$$M_{z,ed} = 10,00 \text{ kNm}$$

$$\lambda_y^- = 2,98$$

$$\chi_y = 0,101$$

$$\lambda_z^- = 0,7$$

$$\chi_z = 0,725$$

$$\chi_{LT} = 0,89$$

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 355 = 1606,38 \text{ kN}$$

$$M_{y,rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,25 \cdot 10^5 \cdot 355 = 115,38 \text{ kNm}$$

$$M_{z,rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,56 \cdot 10^5 \cdot 355 = 55,38 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0,45$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,45 = 0,78 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,78$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$\begin{aligned}
k_{yy} &= 0,78 \cdot \left(1 + (2,98 - 0,2) \cdot \frac{0,97}{\frac{0,101 \cdot 1606,38}{1,0}} \right) \\
&\leq 0,78 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{0,97}{\frac{0,101 \cdot 1606,38}{1,0}} \right) = 0,79 \leq 0,78
\end{aligned}$$

$$k_{yy} = 0,78$$

$$\Psi = 0,45$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot (0,45) = 0,78 \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,78$$

$$\begin{aligned}
k_{zy} &= \left(1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z^-}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left(1 - \frac{\lambda_z^-}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
k_{zy} &= \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,7}{(0,78 - 0,25)} \cdot \frac{0,97}{\frac{0,725 \cdot 1606,38}{1,0}} \right) \\
&\leq \left(1 - \frac{0,7}{(0,78 - 0,25)} \cdot \frac{0,97}{\frac{0,725 \cdot 1606,38}{1,0}} \right) = 1,0 \leq 1,0
\end{aligned}$$

$$k_{zy} = 1,0$$

$$\Psi = -0,33$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,33) = 0,47 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,47$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \lambda_z^- - 0,6) \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,47 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,7 - 0,6) \cdot \frac{0,97}{\frac{0,725 \cdot 1606,38}{1,0}} \right)$$

$$\leq 0,47 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{0,97}{\frac{0,725 \cdot 1606,38}{1,0}} \right) = 0,47 \leq 0,47$$

$$k_{zz} = 0,47$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,47 = 0,28$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{0,97}{\frac{0,101 \cdot 1606,38}{1,0}} + 0,78 \cdot \frac{73,21}{\frac{0,89 \cdot 115,38}{1,0}} + 0,28 \cdot \frac{10,0}{\frac{55,38}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,61 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,ed}}{M_{z,rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{0,97}{\frac{0,725 \cdot 1606,38}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{73,21}{\frac{0,89 \cdot 115,38}{1,0}} + 0,47 \cdot \frac{10,0}{\frac{55,38}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,80 \leq 1,0 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

4 GLOBÁLNÍ STABILITA VAZNÍKU

4.1 MOMENT UPROSTŘED ROZPĚTÍ

$$M_I = 219,51 \text{ kNm}; \alpha_{cr} = 59,37; l_f = 3000 \text{ mm}$$

$$M_{II} = \frac{M_I}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \frac{219,51}{1 - \frac{1}{59,37}} = 223,27 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{ed} = M_{II} - M_I = 223,27 - 219,51 = 3,76 \text{ kNm}$$

$$\Delta N_{ed} = \frac{\Delta M_{ed}}{l_f} = \frac{3,76}{3} = 1,25 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 700,26 \text{ kN}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,838 \cdot 3990 \cdot 355}{1,0} = 1186,99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed} + \Delta N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{700,26 + 1,25}{1186,99} = 0,59 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$\frac{N_{ed} + \Delta N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{700,26 + 1,25}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} + 0,52 \cdot \frac{15,75}{\frac{1,0 \cdot 65,68}{1,0}} + 0,38 \cdot \frac{3,2}{\frac{65,68}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,73 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{ed} + \Delta N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{700,26 + 1,25}{\frac{0,838 \cdot 1416,45}{1,0}} + 0,31 \cdot \frac{15,75}{\frac{1,0 \cdot 65,68}{1,0}} + 0,63 \cdot \frac{3,2}{\frac{65,68}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,69 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

4.2 NEJVĚTŠÍ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_I = 559,07 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cr} = 59,37$$

$$l_f = 3000 \text{ mm}$$

$$M_{II} = \frac{M_I}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \frac{559,07}{1 - \frac{1}{59,37}} = 568,65 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{ed} = M_{II} - M_I = 568,65 - 559,07 = 9,58 \text{ kNm}$$

$$\Delta N_{ed} = \frac{\Delta M_{ed}}{l_f} = \frac{9,58}{3} = 3,19 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 616,09 \text{ kN}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,861 \cdot 4270 \cdot 355}{1,0} = 1305,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed} + \Delta N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{616,09 + 3,19}{1305,15} = 0,47 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak

$$\frac{N_{ed} + \Delta N_{ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{616,09 + 3,19}{\frac{0,861 \cdot 1515,85}{1,0}} + 0,49 \cdot \frac{20,72}{\frac{1,0 \cdot 82,01}{1,0}} + 0,38 \cdot \frac{7,5}{\frac{82,01}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,63 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{ed} + \Delta N_{ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{616,09 + 3,19}{\frac{0,861 \cdot 1515,85}{1,0}} + 0,29 \cdot \frac{20,72}{\frac{1,0 \cdot 82,01}{1,0}} + 0,64 \cdot \frac{7,5}{\frac{82,01}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,60 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

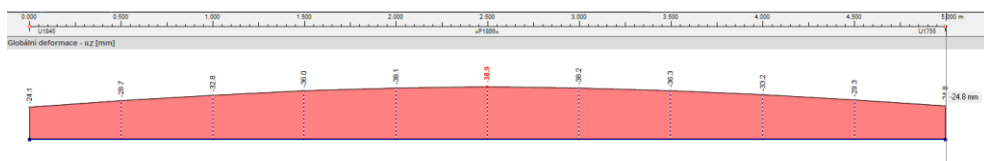
5 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

5.1 VAZNICE

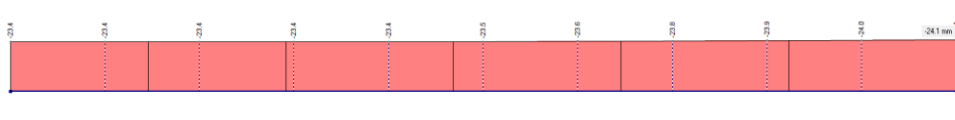
$$L = 5000 \text{ mm}$$

$$u_z = 38,9 - 24,1 = 11,9 \text{ mm}$$

$$u_z = 14,8 \text{ mm} \leq \frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25,00 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obrázek 13 - Největší svislý průhyb vaznice



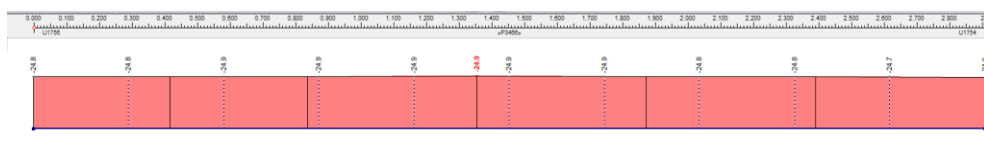
Obrázek 14 - Průhyb vazníku v místě největšího průhybu vaznice

5.2 VAZNÍK

$$L = 80314 \text{ mm}$$

$$u_z = 24,9 \text{ mm}$$

$$u_z = 24,9 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{80314}{250} = 321,23 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



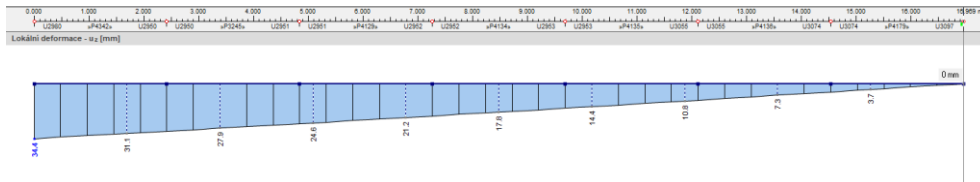
Obrázek 15 - Největší svislý průhyb vazníku

5.3 SLOUP

$$L = 16969 \text{ mm}$$

$$u_y = 34,4 \text{ mm}$$

$$u_y = 34,4 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{16969}{250} = 67,88 \text{ mm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$



Obrázek 16 - Největší vodorovný průhyb sloupu

6 SPOJE

6.1 PŘIPOJENÍ VAZNÍKU

6.1.1 NÁVRH ČEPU

$$d = 80 \text{ mm}$$

$$d_0 = 83 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{yp} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{up} = 470 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} = 5026,55 \text{ mm}^2$$

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 80^3}{32} = 50265,48 \text{ mm}^3$$

$$f_{up} = 510 \text{ MPa}$$

Podporové reakce

$$R_x = 56,65 \text{ kN}$$

$$R_z = 917,24 \text{ kN}$$

$$F_{ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{56,65^2 + 917,24^2} = 917,24 \text{ kN}$$

Geometrie čepu

$$a \geq \frac{F_{ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{917,24 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 83}{3} = 88 \text{ mm} \rightarrow a = 95 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{917,24 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 355} + \frac{83}{3} = 60 \text{ mm} \rightarrow c = 95 \text{ mm}$$

P40-273x300 → S355

P20-273x300 → S355

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 5026,55 \cdot 510}{1,25} = 1230,50 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ed}}{F_{v,rd}} = \frac{917,24}{1230,50} = 0,75 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu v otláčení

$$F_{b,rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 80 \cdot 355}{1,0} = 1704,00 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ed}}{F_{b,rd}} = \frac{917,24}{1704,00} = 0,54 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 50265,48 \cdot 355}{1,0} = 26,77 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = \frac{F_{ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{917,24}{8} \cdot (40 + 4 \cdot 3 + 2 \cdot 20)$$

$$M_{ed} = 10,55 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{rd}} = \frac{10,55}{26,77} = 0,39 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu na kombinace střihu a ohybu

$$\left[\frac{M_{ed}}{M_{rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,ed}}{F_{v,rd}} \right]^2 = \left[\frac{10,55}{26,77} \right]^2 + \left[\frac{917,24}{1230,50} \right]^2 = 0,71 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení svislých plechů na vzpěr

$$N_{ed} = \frac{F_{ed}}{2} = \frac{917,24}{2} = 458,62 \text{ kN}$$

$$b_{eff} = 273 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = (b_{eff} - d_0) \cdot t = (273 - 83) \cdot 40 = 7600 \text{ mm}^2$$

$$t_2 = 20 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 122 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t_2^2} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot 20^2} = 5,77 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{122}{5,77} = 21,14$$

$$\lambda_i = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\lambda^- = \frac{\lambda}{\lambda_i} = \frac{21,14}{76,40} = 0,28 \rightarrow \text{Křivka } c \rightarrow \chi = 0,959$$

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,959 \cdot 7600 \cdot 355}{1,0} = 2587,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{458,62}{2587,38} = 0,18 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.1.2 NÁVRH PATNÍ DESKY

P10-230x405 \rightarrow S355

$$N_{ed} = 343,08 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 109,99 \text{ kN}$$

6.1.3 NÁVRH ŠROUBU

$$n = 4$$

$$d = 27 \text{ mm}$$

$$d_0 = 30 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$A_s = 459 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 45 \text{ mm}$$

$$p_1 = 284 \text{ mm}$$

$$p_2 = 140 \text{ mm}$$

6.1.3.1 KOTVENÍ ŠROUBŮ 4xM27

Posouzení na střih

$$F_{v,ed} = 109,99 \text{ kN}$$

$$F_{v,rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 176,26 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{v,rd}} = \frac{109,99}{4 \cdot 176,26} = 0,16 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na otlačení

Krajní šrouby

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 45}{30} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,5; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 30} = 0,67$$

Vnitřní šrouby

$$k_1 = \min\left(\frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(\frac{1,4 \cdot 132}{30} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = \min(4,46; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{284}{3 \cdot 30} - 0,25 = 2,91$$

Součinitelé

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(0,67; \frac{800}{490}; 1,0\right) = 0,67$$

$$F_{b,rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,67 \cdot 490 \cdot 27 \cdot 20}{1,25} = 354,56 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,ed}}{n \cdot F_{b,rd}} = \frac{109,99}{4 \cdot 354,56} = 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tah

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 264,38 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{vtrd}} = \frac{343,08}{4 \cdot 264,38} = 0,32 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na protlačení

$$B_{p,rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot f_u \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 44,2 \cdot 490 \cdot 20}{1,25} = 653,19 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot B_{p,rd}} = \frac{343,08}{4 \cdot 653,19} = 0,13 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na kombinaci střihu a tahu

$$F_{v,rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 176,26 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 264,38 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{v,rd}} + \frac{F_{t,ed}}{1,4 \cdot n \cdot F_{t,rd}} = \frac{109,99}{4 \cdot 176,26} + \frac{343,08}{1,4 \cdot 4 \cdot 264,38} = 0,39 \leq 1,0$$

$\rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$

6.1.3.2 PŘIPOJENÍ PATNÍ DESKY A SVISLÝCH PLECHŮ

Tupý svar

Únosnost tupého svaru je rovna únosnosti připojovaného plechu jak v tahu, ve smyku, tak v ohybu.

Posouzení na tah

$$N_{ed} = 343,08 \text{ kN}$$

$$N_{w,rd} = N_{t,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 273 \cdot 355}{1,0} = 1938,30 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{t,rd}} = \frac{343,08}{1938,38} = 0,47 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk

$$V_{ed} = 109,99 \text{ kN}$$

$$V_{w,rd} = V_{pl,rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 273 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1119,01 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{w,rd}} = \frac{109,99}{1119,01} = 0,098 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{ed} = 17,24 \text{ kNm}$$

$$M_{w,rd} = M_{pl,rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{1}{6} \cdot 20 \cdot 273^2 \cdot 355}{1,0} = 88,19 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{w,rd}} = \frac{17,24}{88,19} = 0,20 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.2 PŘIPOJENÍ DIAGONÁL A SVISLIC K DOLNÍMU PÁSU

6.2.1 VSTUPNÍ HODNOTY

$$N_{0,ed} = -948,69 \text{ kN}$$

$$N_{1,ed} = -159,79 \text{ kN}$$

$$N_{2,ed} = 129,84 \text{ kN}$$

$$N_{3,ed} = -45,30 \text{ kN}$$

$$M_{0,ed} = 35,01 \text{ kN}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 43,28^\circ ; \theta_3 = 90^\circ$$

$$d_1 = d_2 = d_3 = 114,3 \text{ mm}$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = 6,3 \text{ mm}$$

$$d_0 = 244,5 \text{ mm}$$

$$e = 37 \text{ mm}$$

$$A_0 = 7370 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,0} = 4,15 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

6.2.2 PODMÍNKY PRO ZANEDBÁNÍ EXCENTRICITY

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} \leq 1,0 \rightarrow \frac{d_1}{d_0} = \frac{d_2}{d_0} = \frac{d_3}{d_0} = \frac{114,3}{244,5} = 0,47 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Třída 1 \rightarrow **VYHOVUJE**

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 50 \rightarrow \frac{d_0}{t_0} = \frac{244,5}{10} = 24,45 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Třída 1 \rightarrow **VYHOVUJE**

$$10 \leq \frac{d_i}{t_i} \leq 50 \rightarrow \frac{d_1}{t_1} = \frac{d_2}{t_2} = \frac{d_3}{t_3} = \frac{114,3}{6,3} = 18,14 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$g_{1,3} = 40 \text{ mm} \geq t_1 + t_2 = 6,3 + 6,3 = 12,6 \text{ mm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$g_{3,2} = 40 \text{ mm} \geq t_3 + t_2 = 6,3 + 6,3 = 12,6 \text{ mm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Všechny podmínky pro zanedbání excentricity jsou splněny.

Posouzení na porušení povrchu pásu

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{244,5}{2 \cdot 10} = 12,23$$

$g = 90 \text{ mm} \rightarrow$ největší možná hodnota

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(0,5 \cdot \frac{g}{t_0} - 1,33\right)} \right)$$

$$k_g = 12,23^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 12,23^{1,2}}{1 + \exp\left(0,5 \cdot \frac{90}{10} - 1,33\right)} \right) = 1,73$$

$$\sigma_{p,ed} = \frac{N_{p,ed}}{A_0} + \frac{M_{p,ed}}{W_{el,0}} = \frac{948,69}{7370} + \frac{35,01}{4,15 \cdot 10^5} = 213,08 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{213,08}{420}}{1,0} = 0,51$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,51 \cdot (1 + 0,51) = 0,77$$

$$N_{1,rd} = \frac{\frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_0} \right)}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{1,rd} = \frac{\frac{1,73 \cdot 0,77 \cdot 420 \cdot 10^2}{\sin(43,28)} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{114,3 + 114,3 + 114,3}{3 \cdot 244,5} \right)}{1,0}$$

$$N_{1,rd} = 546,24 \text{ kN}$$

$$N_{2,rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,rd} = \frac{\sin(43,28)}{\sin(43,28)} \cdot 546,24 = 546,24 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{3,ed} \cdot \sin \theta_3}{N_{1,rd} \cdot \sin \theta_1} = \frac{159,79 \cdot \sin(43,28) + 45,30 \cdot \sin(90)}{546,24 \cdot \sin(43,28)} =$$

$$= 0,41 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{2,ed} \cdot \sin \theta_2}{N_{1,rd} \cdot \sin \theta_1} = \frac{129,84 \cdot \sin(43,28)}{546,24 \cdot \sin(43,28)} = 0,24 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{N_{1,rd}} = \frac{159,79}{546,24} = 0,29 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{2,ed}}{N_{2,rd}} = \frac{129,84}{546,24} = 0,24 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na porušení prolomením smykem

Mezipásový prut 1

$$d_1 = 114,3 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 244,5 - 2 \cdot 10 = 224,5 \text{ mm}$$

$$N_{1,rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{420}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin(43,28)}{2 \cdot \sin^2(43,28)}}{1,0}$$

$$N_{1,rd} = 1561,36 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{N_{1,rd}} = \frac{159,79}{1561,36} = 0,10 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Mezipásový prut 2

$$d_2 = 114,3 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 244,5 - 2 \cdot 10 = 224,5 \text{ mm}$$

$$N_{2,rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{1 + \sin \theta_2}{2 \cdot \sin^2 \theta_2}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{420}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin(43,28)}{2 \cdot \sin^2(43,28)}}{1,0}$$

$$N_{2,rd} = 1561,36 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2,ed}}{N_{2,rd}} = \frac{129,84}{1561,36} = 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Mezipásový prut 3

$$d_3 = 114,3 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 244,5 - 2 \cdot 10 = 224,5 \text{ mm}$$

$$N_{3,rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot \frac{1 + \sin \theta_3}{2 \cdot \sin^2 \theta_3}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{420}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin(90)}{2 \cdot \sin^2(90)}}{1,0}$$

$$N_{3,rd} = 870,07 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{3,ed}}{N_{3,rd}} = \frac{45,30}{870,07} = 0,05 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Svary styčnicku vazníku

Mezipásový prut 1

$$l = 280 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = \min(t_0; t_1) = \min(10; 6,3) = 6,3$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 6,3 = 6,9 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 159,79 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 280 = 281,65 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{159,79}{281,65} = 0,57 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Mezipásový prut 2

$$l = 280 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = \min(t_0; t_2) = \min(10; 6,3) = 6,3$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 6,3 = 6,9 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{2,ed} = 129,84 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 280 = 281,65 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{129,84}{281,65} = 0,46 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Mezipásový prut 3

$$l = 280 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \min(t_0; t_3) = \min(10; 6,3) = 6,3$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 6,3 = 6,9 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{3,ed} = 45,30 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 280 = 281,65 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{3,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{45,30}{281,65} = 0,16 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3 MONTÁŽNÍ SPOJ HORNÍHO PÁSU

$$F_{t,ed} = 135,02 \text{ kN}$$

6.3.1 NÁVRH DESKY

$$2XP20-\emptyset 280 \rightarrow S355$$

6.3.2 NÁVRH ŠROUBŮ M16 5.8

$$n = 6$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = 42 \text{ mm}$$

$$e_2 = 41 \text{ mm}$$

$$p_2 = 137,1 \text{ mm}$$

6.3.2.1 PORUŠENÍ ČELNÍ DESKY

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{177,8}{2} + 42 = 130,9 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{177,8 - 6,3}{2} = 85,75 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln\left(\frac{r_2}{r_3}\right) = \ln\left(\frac{130,9}{85,75}\right) = 0,42$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0,42 + 2 = 2,42$$

$$f_3 = \frac{k_3 + (k_3^2 - 4 \cdot k_1)^{0,5}}{2 \cdot k_1} = \frac{2,42 + (2,42^2 - 4 \cdot 0,42)^{0,5}}{2 \cdot 0,42} = 5,31$$

$$N_{1,ed} = 135,02 \text{ kN} \leq \frac{t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{20^2 \cdot 355 \cdot \pi \cdot 5,31}{2 \cdot 1,0} = 1184,41 \text{ kN}$$

→ **VYHOVUJE**

6.3.2. 2 PORUŠENÍ ŠROUBŮ

Posouzení na tah

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{t,rd}} = \frac{135,02}{6 \cdot 56,52} = 0,40 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na protlačení

$$B_{p,rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot f_u \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 490 \cdot 20}{1,25} = 382,75 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot B_{p,rd}} = \frac{135,02}{6 \cdot 382,75} = 0,06 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.2. 3 PORUŠENÍ ŠROUBŮ A ČELNÍ DESKY

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{177,8}{2} + 42 = 130,9 \text{ mm}$$

$$e_{\text{eff}} = \min(e_2; 1,25 \cdot e_1) = \min(41; 1,25 \cdot 42) = 41 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{\text{eff}} = \frac{177,8}{2} + 42 + 41 = 171,9 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 135,02 \leq \frac{n \cdot F_{t,rd}}{1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}} = \frac{6 \cdot 56,52}{1 - \frac{1}{5,31} + \frac{1}{5,31 \cdot \ln\left(\frac{171,9}{130,9}\right)}} = 225,65 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.2. 4 PORUŠENÍ SVARŮ

$$l = 558 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = \min(t_0; t_1) = \min(20; 6,3) = 6,3$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 6,3 = 6,9 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 135,02 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 558 = 567,98 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{135,02}{567,98} = 0,24 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4 MONTÁŽNÍ SPOJ DOLNÍHO PÁSU

6.4.1 NÁVRH DESKY

$$2XP20-\emptyset 410,5 \rightarrow S355$$

$$F_{t,ed} = 325,83 \text{ kN}$$

6.4.2 NÁVRH ŠROUBU M16 5.8

$$n = 10$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = 42 \text{ mm}$$

$$e_2 = 41 \text{ mm}$$

$$p_2 = 103,2 \text{ mm}$$

6.4.2.1 PORUŠENÍ ČELNÍ DESKY

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{244,5}{2} + 42 = 164,25 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{177,8 - 6,3}{2} = 116 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln\left(\frac{r_2}{r_3}\right) = \ln\left(\frac{164,25}{116}\right) = 0,35$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0,35 + 2 = 2,35$$

$$f_3 = \frac{k_3 + (k_3^2 - 4 \cdot k_1)^{0,5}}{2 \cdot k_1} = \frac{2,35 + (2,35^2 - 4 \cdot 0,35)^{0,5}}{2 \cdot 0,35} = 6,26$$

$$N_{1,ed} = 325,83 \text{ kN} \leq \frac{t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{20^2 \cdot 355 \cdot \pi \cdot 6,26}{2 \cdot 1,0} = 11396,31 \text{ kN}$$

→ **VYHOVUJE**

6.4.2.2 PORUŠENÍ ŠROUBŮ

Posouzení na tah

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,ed}}{n \cdot F_{t,rd}} = \frac{325,83}{10 \cdot 56,52} = 0,58 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na protlačení

$$B_{p,rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot f_u \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 490 \cdot 20}{1,25} = 382,75 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,ed}}{n \cdot B_{p,rd}} = \frac{325,83}{10 \cdot 382,75} = 0,15 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4.2.3 PORUŠENÍ ŠROUBŮ A ČELNÍ DESKY

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{244,5}{2} + 42 = 164,25 \text{ mm}$$

$$e_{\text{eff}} = \min(e_2; 1,25 \cdot e_1) = \min(41; 1,25 \cdot 42) = 41 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{\text{eff}} = \frac{244,5}{2} + 42 + 41 = 205,25 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 325,83 \leq \frac{n \cdot F_{t,rd}}{1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}} = \frac{10 \cdot 56,52}{1 - \frac{1}{6,26} + \frac{1}{6,26 \cdot \ln\left(\frac{205,25}{164,25}\right)}} =$$

$$= 362,98 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4.2.4 PORUŠENÍ SVARŮ

$$l = 768 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = \min(t_0; t_1) = \min(20; 12,5) = 12,5$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 12,5 = 13,75 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 135,02 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 768 = 772,52 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{325,83}{772,52} = 0,42 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.5 MONTÁŽNÍ SPOJ DIAGONÁLY

$N_{ed} = 211,14 \text{ kN} \rightarrow$ největší tahová síla v diagonále

6.5.1 NÁVRH DESKY

Na diagonále P15-140x310 \rightarrow S355

Na horním páse P15-135x278 \rightarrow S355

Na horním páse P15-135x278 \rightarrow S355

6.5.2 NÁVRH ŠROUBŮ M27 8.8

$$n = 2$$

$$d = 27 \text{ mm}$$

$$d_0 = 30 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$A_s = 459 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ mm}$$

$$p_1 = 3,5 \cdot d_0 = 3,5 \cdot 30 = 105 \text{ mm}$$

$$p_2 = 3,5 \cdot d_0 = 3,5 \cdot 30 = 105 \text{ mm}$$

6.5.2.1 POSOUZENÍ ŠROUBŮ M27 8.8

Posouzení na tah

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 264,38 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{vtrd}} = \frac{211,14}{2 \cdot 264,38} = 0,40 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na protlačení

$$B_{p,rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot f_u \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 44,2 \cdot 490 \cdot 15}{1,25} = 489,89 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot B_{p,rd}} = \frac{211,14}{2 \cdot 489,89} = 0,22 \leq 1,0 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

6.5.2.2 PORUŠENÍ SVARŮ

Připojení plechu k diagonále

$$l = 60 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \min(t_0; t_1) = \min(8; 6,3) = 6,3 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 6,3 = 6,93 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 52,79 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 60 = 60,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{52,79}{60,35} = 0,87 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Připojení plechu k hornímu pásu

$$l = 140 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \min(t_0; t_1) = \min(8; 6,3) = 6,3 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 6,93 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{1,ed} = 105,58 \text{ kN}$$

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

$$F_{vw,rd} = f_{vw,rd} \cdot a \cdot l = 251,47 \cdot 4 \cdot 150 = 140,82 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,ed}}{F_{vw,rd}} = \frac{105,58}{140,82} = 0,75 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990 *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 75 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 44 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 52 s.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.
- [5] ČSN SN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 96 s.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 126 s.
- [7] JÖRG, F. a KUHLMANN, U. Stability of Double-Symmetric Sections Subjected to Axial Force, Bending Moments and Torsion. In *Stability and Ductility of Steel Structures 2019*. London: CRC Press, 2019. p. 578-586. ISBN: 978-0-429-32024-8.
- [8] PILGR, M.: *Kovové konstrukce. Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2012.
- [9] Studijní zápisky z předmětu BO002 Prvky kovových konstrukcí.
- [10] Staticstools. *Staticstools* [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <http://www.staticstools.eu/cs>
- [11] Kingspan [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stresni-izolacni-panely/stresni-sendvicovy-panel-ks1000-top-dek>

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Půdorys zastřešení konstrukce	11
Obrázek 2 - Schéma příčného řezu	12
Obrázek 3 - Schéma štítové stěny	12
Obrázek 4 - Schéma pro výpočet od zatížení sněhem	16
Obrázek 5 - Schéma pro výpočet zatížení od nenavátého sněhu	16
Obrázek 6 - Schéma pro výpočet zatížení od sněhu navátého 1	17
Obrázek 7 - Schéma pro výpočet zatížení od sněhu navátého 2	20
Obrázek 8 - Schéma pro výpočet zatížení od sněhu nenavátého poloviční	22
Obrázek 9 - Schéma pro výpočet od zatížení větrem	23
Obrázek 10 - Schématický obrázek pro výpočet účinků od příčného větru	25
Obrázek 11 - Schématický obrázek pro výpočet účinků zatížení od podélného větru ...	26
Obrázek 12 - Schématický obrázek pro výpočet účinků zatížení od podélného větru ...	30
Obrázek 13 - Největší svislý průhyb vaznice	82
Obrázek 14 - Průhyb vazníku v místě největšího průhybu vaznice	82
Obrázek 15 - Největší svislý průhyb vazníku	82
Obrázek 16 - Největší vodorovný průhyb sloupu	83

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Zatížení od střešního pláště působící na vaznice	15
Tab. 2 - Zatížení na vaznice od nenavátého sněhu	17
Tab. 3 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 1	18
Tab. 4 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 1 - pomocné výpočty	19
Tab. 5 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 1 – návrhové hodnoty	19
Tab. 6 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 2	21
Tab. 7 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 2 - pomocné výpočty	21
Tab. 8 - Zatížení na vaznice od sněhu navátého 2 – návrhové hodnoty	22
Tab. 9 - Zatížení na vaznice od nenavátého sněhu	23
Tab. 10 - Zatížení od příčného větru na jednotlivé vaznice.....	26
Tab. 11 - Hodnoty $C_{pe,10}$ pro každou vaznici	28
Tab. 12 - Charakteristické hodnoty zatížení od podélného větru	29
Tab. 13 - Návrhové hodnoty zatížení od podélného větru.....	29
Tab. 14 - Zatížení od podélného větru	30
Tab. 15 - Normálové síly v uzlech.....	31
Tab. 16 - Stabilitní síly	32
Tab. 17 - Zatěžovací stavy	33
Tab. 18 - Kombinační součinitelé	33